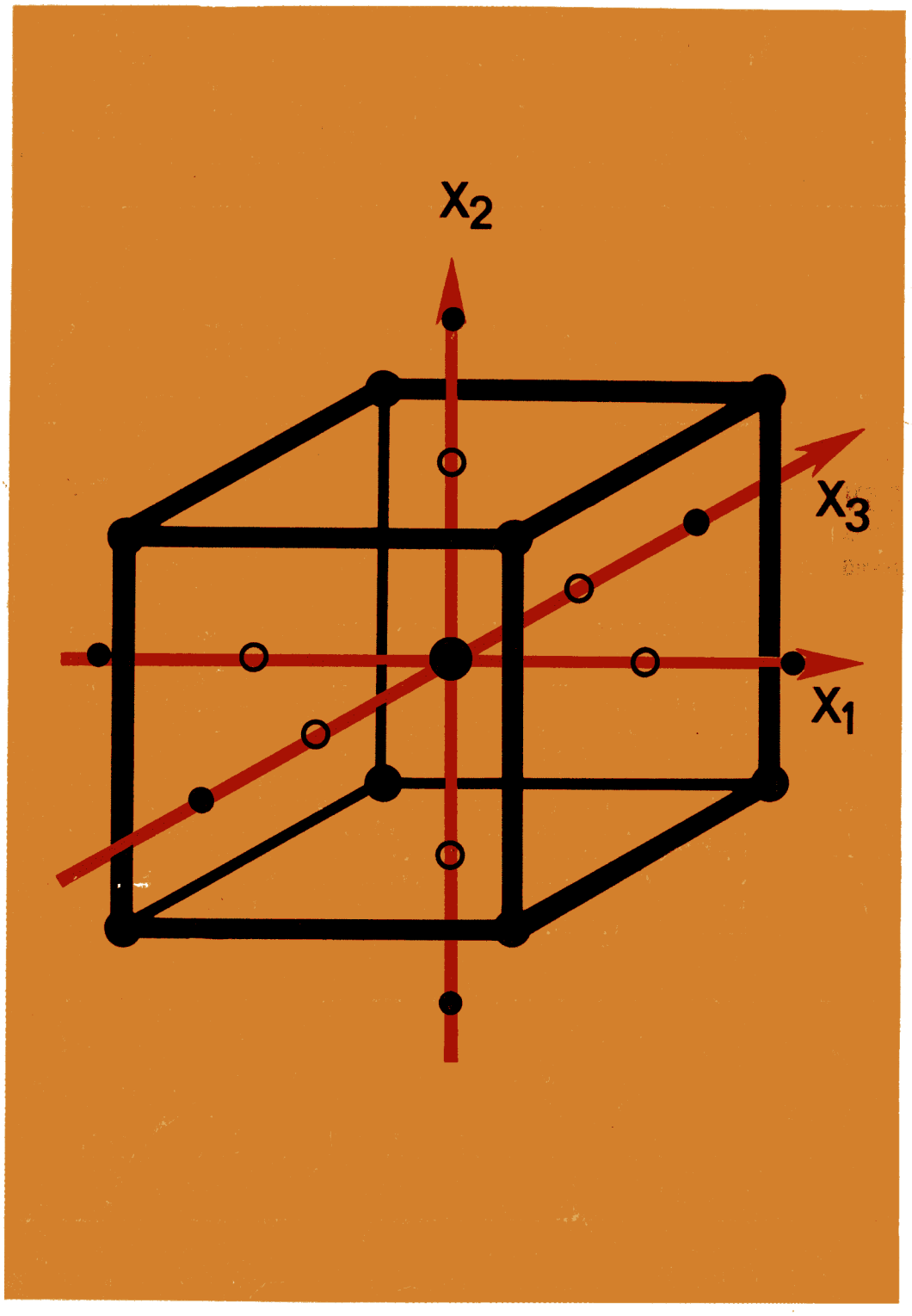
TJEI
JJM

7 msr

1982 **messen • steuern • regeln**

Abteilung Elektro
3 AUG 1982
Betrieb Ammendorf



25. Jahrgang
Heft 7
Juli 1982

Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,00 M

VEB Verlag Technik Berlin

Index 32 525
ISSN 0026-0347

NEUERSCHEINUNG

Rechnergestützte Optimierung für Ingenieure

Von Prof. Dr. Wilfried Krug und Dr.-Ing. Siegfried Schönfeld

Etwa 360 Seiten, 200 Bilder, 45 Tafeln, Leinen, 34,— M.
Erscheint in diesen Tagen.
Bestellangaben: 5528968/Krug, Optimierung

Unter starker Berücksichtigung praxisbezogener, ingenieurtypischer Aufgaben wurde hier ein Buch geschaffen, das die Benutzer in einer verständlichen Form mit den mathematischen Methoden der Optimierung vertraut macht. Das gilt insbesondere in bezug auf rechnergestützte Verfahren. In notwendiger Tiefe und Solidität werden Programme und Programmsysteme abgehandelt, mit Praxisbeispielen organisch verbunden und mit geeigneten Algorithmen dargestellt.
Aus dem Inhalt: Rechnergestützte Optimierung in Forschung, Entwicklung, Konstruktion und Projektierung · Aufgabenstellung für ein Optimierungsproblem · Mathematische Formulierung des Optimierungsproblems · Analytische Optimierung · Ablauf der rechnergestützten Optimierung · Einordnung von Optimierungsverfahren · Deterministische Verfahren · Zufallsverfahren · Adaptionsverfahren · Kombinierte Verfahren · Straf- und Barrierverfahren · Diskrete Optimierung · Evolutionsverfahren · Optimierung mit mehrfacher Zielsetzung (Polyoptimierung) · Anwendungen der rechnergestützten Optimierung · Vergleichende Betrachtungen zur Anwendung von Optimierungsverfahren · Aufgabensammlung.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

STARK BEARBEITET

Elektronische Schaltungstechnik

Von Doz. Dr. sc. techn. Roland Köstner und Prof. Dr.-Ing. habil. Albrecht Möschwitzer

2., stark bearbeitete Auflage.
Etwa 300 Seiten, 345 Bilder, 32 Tafeln, Leinen, etwa 42,— M
Erscheint in diesen Tagen.
Bestellangaben: 5530857/ Köstner, Schaltung

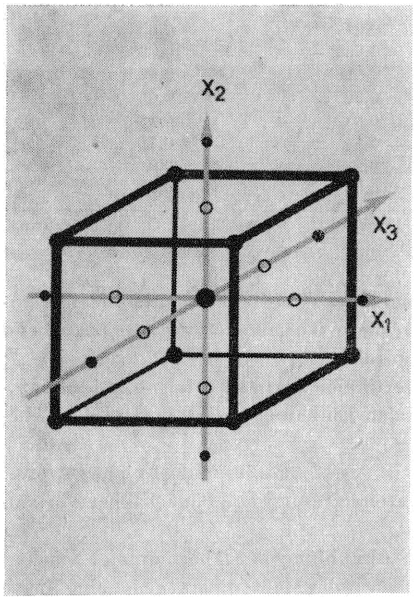
Das Buch gibt eine Übersicht über die wichtigsten analogen und digitalen Grundschaltungen, wobei auf solche Schaltungsprinzipien orientiert wird, die eine mikroelektronische Realisierung gewährleisten. Aufbauend auf diesen Grundlagen werden die am häufigsten verwendeten Schaltungskomplexe, so wie sie bereits als integrierte Schaltkreise angeboten werden, in ihrer Funktion beschrieben und Fragen der optimalen äußeren Beschaltung behandelt. Dabei wird im digitalen Teil auch auf hochintegrierte Rechnerschaltkreise (Mikroprozessoren, Speicher) eingegangen.
Hauptabschnitte: Grundlagen der elektronischen Schaltungstechnik · Grundschaltungen der Analogtechnik · Integrierte Analogschaltkreise und deren Anwendung · Grundschaltungen der Digitaltechnik · Eigenschaften und Anwendungen von TTL-Schaltkreisen · Hochintegrierte Mikrorechnerschaltkreise in MOS-Technik · AD- und DA-Konverter.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

msr

messen · steuern · regeln

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik



Optimale Versuchspläne geben für die Lage der Versuchspunkte der Eingangsgrößen im Regressionsmodell sinnvolle Vorschriften. Das Versuchsgebiet wird entsprechend einem Optimalitätskriterium überdeckt, und der rechnerische Auswerteaufwand wird möglichst klein gehalten. Derartige Versuchspläne können auch zur Entkopplung von Meß- und Zustandsgrößen (z. B. in reduktiven Kupferbädern) gewinnbringend angewendet werden.
Das Titelbild zeigt die Lage der Versuchspunkte bei Verwendung eines Box-Hunter-Planes und bei drei Eingangsgrößen. Näheres zu dieser Thematik finden Sie im Beitrag auf S. 368.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*

Herausgeber:
Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Redaktionsbeirat:
Obering. G. F. Berg, Dr. rer. nat. A. Borgwardt, Dr.-Ing. E. h. W. Britall, Prof. Dr.-Ing. W. Fritzsch, Doz. Dr.-Ing. H. Fuchs, Dr. rer. nat. H. Gena, Dipl.-Ing. H. Gottschalk, Dr.-Ing. K. Hilscher, Prof. Dr.-Ing. habil. D. Hofmann, Dipl.-Ing. K. Keller, Prof. em. Dr. phil. nat. Dr.-Ing. E. h. H. Kindler, Dipl.-Phys. G. Meister, Dr.-Ing. J. Müller, Prof. Dr. sc. techn. R. Müller, Obering. K.-H. Nagel, Prof. Dr.-Ing. S. Pilz, Dr.-Ing. W. Reichel, Prof. Dr. sc. techn. K. Reinisch, Dr.-Ing. H. Schulze, Prof. Dr.-Ing. H. Töpfer, Prof. Dr. sc. oec. G. Viehweger

7

25. Jahrgang
Juli 1982

VEB
VERLAG TECHNIK

AUFSÄTZE ISSN 0026-0347

362 *G. Jainz*
Präzisionstemperaturmessung mit Quecksilberglasthermometern

365 *B. Michaelis* und *H. Holub*
Ein Verfahren zur Linearisierung nichtlinearer Kennlinien und effektiven Kalibrierung unter Nutzung von A-priori-Information

368 *J. Wede* und *D. Werner*
Entkopplung von nicht selektiv meßbaren Prozeßgrößen unter Verwendung eines optimalen Versuchsplanes am Beispiel eines reduktiven Kupferbades

373 *J. Beuschel*
Zuverlässigkeit ständig kontrollierter Automatisierungsfunktionen

377 *K. Fischer* und *G. Hertel*
Zuverlässigkeitstheorie und leistungsorientierte Systeme

380 *W. Jehmlich*
Eingabe-Schnittstellen zur Prozeßdatenerfassung mit dem Mikrorechner K 1520

386 *G. Müller*
Digitaler Mehrkanalregler für Zweigrößenregelung mit Entkopplungsreglern vom PID-Typ

390 *G. Frank, W. Krause, B. Schumann* und *E. Zemmrich*
Chargenverfolgung mit Mikrorechner in einem Walzwerk

395 *E. Habiger*
Programmierbare Steuerungen in den USA — eine Übersicht

399 **Programmierbare nichtnumerische Steuerungen (XVIII)**

401 **KURZBEITRAG**

403 **TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN**

408 **DISSERTATIONEN**

409 **PERSÖNLICHES**

410 **PATENTREFERATE**

412 **BUCHBESPRECHUNGEN**

416 **VORSCHAU UND KURZINFORMATIONEN**

3. US **NEUE BÜCHER AUS DER UDSSR**

Ing. *G. Jainz*, Geraberg[1])

Präzisionstemperaturmessung mit Quecksilberglasthermometern

IA 4.2.2.

0. Einleitung

Bei allen energie- und stoffumwandelnden Prozessen und vielen physikalischen Vorgängen spielt die Temperatur als eine Haupteinflußgröße eine bedeutende Rolle. Ihre richtige Messung ist eine wichtige Voraussetzung für die Beherrschung und effektive Nutzung dieser Prozesse und Vorgänge. Für eine Vielzahl von Temperaturmeßproblemen lassen sich Quecksilberglasthermometer verwenden. In der Meßgenauigkeit werden sie nur vom Platinwiderstandsthermometer übertroffen und haben auch heute noch, trotz der Entwicklung moderner Meßverfahren mit elektrischen Thermometern, sowohl in der wissenschaftlichen Forschungsarbeit als auch in der Betriebsmeßtechnik ihre Bedeutung. Vorteile sind insbesondere

- die geringe Meßunsicherheit
- die einfache Handhabung
- der geringe Wartungsaufwand
- der geringe Preis.

So können beispielsweise mit Präzisions-Quecksilberglasthermometern im Temperaturbereich zwischen 0 und 60 °C Meßunsicherheiten von $\leqq 0{,}005$ K ohne erheblichen Aufwand an Zusatzeinrichtungen erreicht werden. Der Einsatz von Quecksilberglasthermometern ist deshalb aus meßtechnischen als auch ökonomischen Gründen in vielen Fällen zweckmäßig.

1. Metrologische Eigenschaften und Kennwerte

Die Grenzen der Meßgenauigkeit von Qecksilberglasthermometern ergeben sich insbesondere aus der thermischen und zeitlichen Instabilität (Depression, säkularer Anstieg) und technologisch bedingten Streuungen der Thermometerausführung sowie aus den bei der Übertragung der Temperatureinheit verursachten Fehlern. Die erreichbaren Meßunsicherheiten in Abhängigkeit vom Temperaturbereich und vom Skalenwert sind aus der Tafel 1 ersichtlich [4].

Der Anwendungsbereich von Präzisions-Quecksilberglasthermometern erstreckt sich von −55 bis +600 °C. Im Temperaturbereich von −55 bis +400 °C werden vorzugsweise Einschlußthermometer, im Temperaturbereich von 400 bis 600 °C Stabthermometer verwendet [2] und [3].

2. Meßbedingungen und Anwendungsrichtlinien

Die Leistungsfähigkeit von Präzisions-Quecksilberglasthermometern kann nur dann vollständig ausgenutzt werden, wenn bei der Verwendung bestimmte Meß- und Anwendungsbedingungen eingehalten werden.

1. Präzisions-Quecksilberglasthermometer sind grundsätzlich ganzeintauchend zu verwenden, d. h., der Quecksilberfaden in der Meßkapillare muß sich bis zur Ablesestelle (Quecksilbermeniskus in der Meßkapillare) auf der zu messenden Temperatur befinden, da diese Thermometer ganzeintauchend justiert und geprüft werden.
2. Der Einbau hat in vertikaler Lage zu erfolgen. Die Abweichung von der vertikalen Einbaulage darf maximal 30° betragen.
3. Der Quecksilberfaden in der Meßkapillare darf nicht getrennt und in der Expansionserweiterung kein Quecksilber vorhanden sein.
4. Bei Erwärmung oder Abkühlung der Thermometer von der Umgebungstemperatur auf die Meßtemperatur ist eine maximale Temperaturänderungsgeschwindigkeit von 100 K/min nicht zu überschreiten.
5. Das Thermometergefäß ist beim Einbau vor mechanischen Belastungen, beispielsweise durch Stoß oder Schlag verursacht, zu schützen.
6. Die Ablesung der Thermometeranzeige hat bei zeitlich konstanter Meßtemperatur nach einer Wartezeit von mindestens 10 min zu erfolgen, um einen annähernden Ausgleich des thermischen Gleichgewichtes zwischen Thermometergefäß und Meßmedium zu gewährleisten. Bei zeitlich veränderlicher Meßtemperatur müssen die dynamischen Fehleranteile des Thermometers, die gemäß TGL 33208 zu bestimmen sind, berücksichtigt werden [1].
7. Vor Ablesung der Thermometeranzeige ist das Thermometer leicht zu erschüttern, um eventuell störende Kapillaritätskräfte bei der Ausbildung des Quecksilbermeniskus in der Meßkapillare zu beseitigen.
8. Die Ablesung der Thermometeranzeige hat, nach Möglichkeit mit einer Fernrohrlupe, parallaxefrei auf 1/10 eines Skalenteiles zu erfolgen [2] und [3].

Tafel 1. Meßunsicherheiten von Präzisions-Quecksilberglasthermometern

Temperaturbereich in °C	erreichbare Meßunsicherheit in K	Skalenwert des Thermometers in K
− 55 bis 0	0,01	0,02
0 bis 60	0,005	0,02
60 bis 100	0,01	0,02
100 bis 200	0,02	0,05
200 bis 300	0,05	0,05
300 bis 400	0,1	0,1
400 bis 500	0,2	0,2
500 bis 600	0,2	0,2

3. Korrekturen für die Anzeige

Für die Präzisionstemperaturmessung mit Quecksilberglasthermometern ist es unter bestimmten Meßbedingungen erforderlich, die Thermometeranzeige rechnerisch zu korrigieren.

3.1. Fadenkorrektion

Läßt sich bei der praktischen Anwendung die vorgeschriebene Eintauchtiefe bis zur Ablesestelle nicht verwirklichen, muß die

[1]) Mitteilung aus dem VEB Thermometerwerk Geraberg, Geraberg.

Tafel 2. Differenz der Volumenausdehnungskoeffizienten von Quecksilber oder Quecksilber-Thalliumlegierung in Thermometergläsern

Temperatur in °C	Geräteglas 860 nach TGL 7209 $\Delta\gamma \cdot K^{-1}$	Geräteglas 380 nach TGL 7209 $\Delta\gamma \cdot K^{-1}$
−50	0,000157	0,000171
0	0,000158	0,000172
50	0,000158	0,000172
100	0,000159	0,000173
150	0,000160	0,000174
200	0,000161	0,000176
250	0,000168	0,000179
300	0,000166	0,000182
350	0,000170	0,000186
400	0,000175	0,000191
450	–	0,000197
500	–	0,000204
600	–	0,000222
700	–	–

Thermometeranzeige für den aus dem Meßmedium herausragenden Teil des Quecksilberfadens in der Meßkapillare, der dadurch eine von der Meßtemperatur abweichende Temperatur annimmt, durch eine Fadenkorrektion nach folgender Beziehung berichtigt werden:

$$t_M = t_{Th} + K_F , \tag{1}$$

wobei

$$K_F = \frac{1}{E} \cdot \Delta\gamma (t_{Th} - t_F) \tag{2}$$

ist.

Es bedeuten:

t_M Temperatur des Meßmediums in °C
K_F Fadenkorrektion in K
t_{Th} abgelesene Temperatur am Thermometer in °C
t_F mittlere Temperatur des herausragenden Teiles des Quecksilberfadens in °C
l Länge des herausragenden Teiles des Quecksilberfadens in mm
E Empfindlichkeit des Thermometers in mm · K^{-1}
$\Delta\gamma$ Differenz der Volumenausdehnungskoeffizienten für Quecksilber oder Quecksilber-Thalliumlegierungen und des Thermometerglases bei der Temperatur

$$\frac{t_{Th} + t_F}{2} \quad \text{in } K^{-1} .$$

$\Delta\gamma$ ist nach Tafel 2 zu ermitteln.

Die mittlere Temperatur des herausragenden Quecksilberfadens in der Meßkapillare wird mit einem Fadenthermometer nach *Mahlke* gemessen, wobei folgende Bedingungen erfüllt sein müssen:

- Das Fadenthermometer muß von gleicher Bauart sein (Einschluß- oder Stabthermometer), um gleiche Wärmeübergangsbedingungen bei der Fadentemperaturmessung zu gewährleisten.
- Die Gefäße der Fadenthermometer müssen mindestens 30 mm länger als der herausragende Teil des Quecksilberfadens sein, damit diese mindestens noch 20 mm in das Meßmedium eintauchen können.
- Die Fadenthermometer sind am Thermometer, dessen Fadentemperatur gemessen werden soll, so einzubauen, daß sich das obere Ende des Gefäßes des Fadenthermometers in Höhe der Ablesestelle befindet [3] und [4].

3.2. *Druckkorrektion*

Bei Thermometern mit einem Skalenwert von kleiner oder gleich 0,02 K ist bei Abweichung vom Nenndruck $p_0 = 101{,}325$ kPa der statische Außendruck am Thermometergefäß zu berücksichtigen. Dazu ist die Kenntnis des äußeren Druckkoeffizienten ε des Thermometers erforderlich, der sich als Quotient aus der Anzeigeänderung des Thermometers und der sie verursachenden Druckänderung bei konstanter Temperatur ergibt. Als mittlerer Druckkoeffizient für Einschlußthermometer kann der Wert von $9 \cdot 10^{-7}$ K Pa^{-1} zur Berechnung der Druckkorrektion verwendet werden. Die Druckkorrektion K_p ist nach folgender Beziehung zu berechnen:

$$K_p = \varepsilon (p_0 - p) . \tag{3}$$

Auf den Einfluß des inneren Druckkoeffizienten wird hier nicht eingegangen, da dieser nur bei Einbau des Thermometers in horizontaler Lage wirksam wird.

Es bedeuten:

K_p Druckkorrektion in K
ε Druckkoeffizient des Thermometers in K Pa^{-1}
p_0 Nenndruck in Pa
p statischer Druck auf das Thermometergefäß in Pa.

Die Thermometeranzeige wird entsprechend Gl. (4) korrigiert:

$$t_M = t_{Th} + K_p . \tag{4}$$

3.3. *Anzeigekorrektion und reduzierte Anzeigekorrektion*

Bei der Prüfung von Präzisions-Quecksilberglasthermometern mit Hilfe eines Vergleichsnormals (z. B. Pt-Widerstandsthermometer) wird punktweise die Abweichung der Thermometeranzeige von der Meßtemperatur t_M im gesamten Meßbereich festgestellt.

Die Anzeigekorrektion K_A ist die Differenz:

$$K_A = t_M - t_{Th} . \tag{5}$$

Die reduzierte Anzeigekorrektion K_r ist die Differenz der Anzeigekorrektion K_A bei der Meßtemperatur t_M und der Anzeigekorrektion K_0 beim Erstarrungspunkt des Wassers, d. h., es gilt:

$$K_r = K_A - K_0 . \tag{6}$$

Der Wert von K_r ist dem Prüfzertifikat für das Präzisions-Quecksilberthermometer zu entnehmen. Bei der Temperaturmessung ist die Anzeigekorrektion K_0 nach der thermischen Belastung des Thermometers und Abkühlung in Luft auf Raumtemperatur (20 ± 2) °C nach einer Wartezeit von 20 min zu bestimmen.

3.4. *Gesamtkorrektion*

Unter Beachtung der Hinweise für die Berücksichtigung erforderlicher Korrekturen für die Thermometeranzeige ergibt sich die zu messende Temperatur aus folgender Beziehung [3] und [4]:

$$t_M = t_{Th} + K_F + K_p + K_0 + K_r . \tag{7}$$

4. Eignung von Quecksilberglasthermometern als Referenznormale

Quecksilberglasthermometer sind als Referenznormale für die Basiseinheit Temperatur geeignet, wenn die Konstruktion und die Hauptabmessungen ungefähr bei Einschlußthermometern den Angaben im Bild 1 und bei Stabthermometern den Angaben im Bild 2 entsprechen [4].

Weiterhin muß das Glas des Thermometergefäßes durch künstliche Alterung thermisch so stabilisiert sein, daß sich nach mehrstündiger Erwärmung des Thermometers auf den Meßbereichsendwert die Anzeige des Thermometers bei 0 °C um nicht mehr als das 0,3fache des Skalenwertes ändert. Aus der Forderung

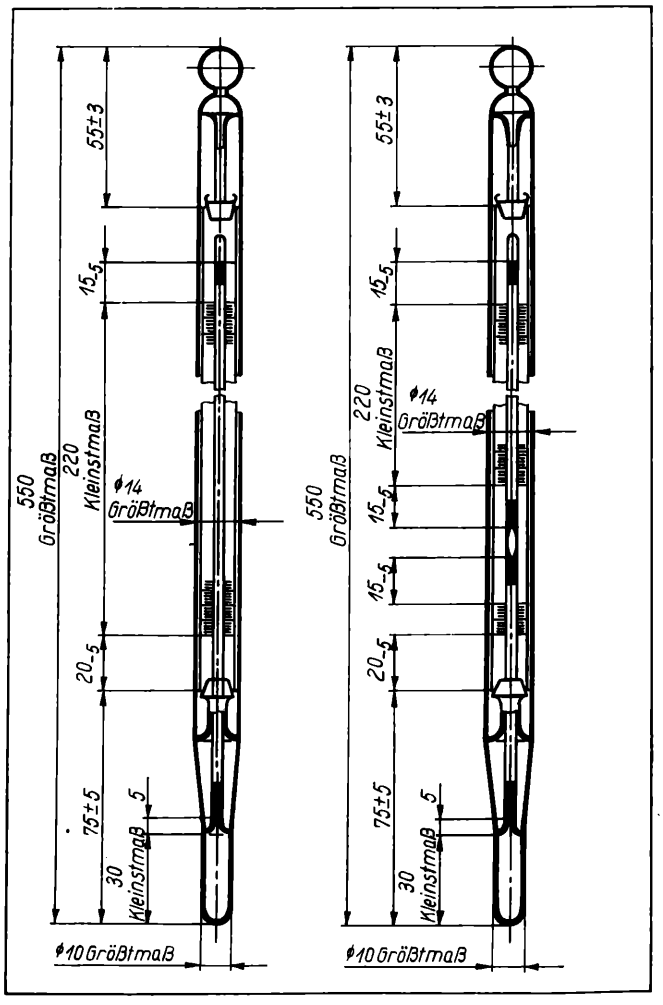


Bild 1. Quecksilberglasthermometer in Einschlußform mit Hauptabmessungen für die Eignung als Referenznormal

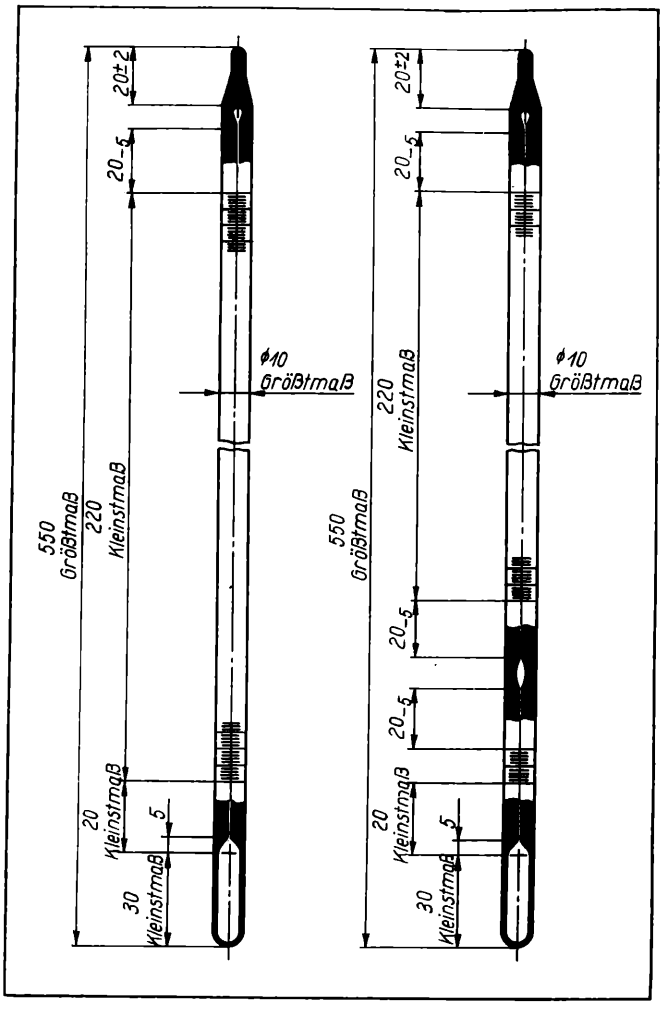


Bild 2. Quecksilberglasthermometer in Stabform mit Hauptabmessungen für die Eignung als Referenznormal

Tafel 3. Skalenwerte für Quecksilberglasthermometer-Referenznormale

Temperaturbereich	Skalenwert	Meßbereich des Thermometers
−55 bis 100 °C	0,02 K	10 K
100 bis 300 °C	0,05 K	20 K
300 bis 500 °C	0,1 K	50 K
500 bis 600 °C	0,2 K	50 K

nach geringer Trägheit und hoher Empfindlichkeit sowie geringem Einfluß der thermischen Nachwirkungen des Thermometerglases folgt, daß der Skalenwert der Thermometer die in der Tafel 3 angegebenen Werte nicht überschreiten sollte.

Der VEB Thermometerwerk Geraberg stellt z. Z. einen Thermometersatz, bestehend aus 25 Thermometern für die Temperaturmessung im Bereich von −55 bis 280 °C her. Die Thermometer entsprechen hinsichtlich ihrer Konstruktion und Hauptabmessungen den Angaben in den Bildern 1 und 2 und sind als Referenznormale der Temperatur geeignet. Die Meßbereiche und Skalenwerte entsprechen den Festlegungen der Tafel 3.

Zusammenfassung

Aufgrund der vorangegangenen Ausführungen ist zu erkennen, daß mit Quecksilberglasthermometern unter Berücksichtigung entsprechender Korrektionen für die Thermometeranzeige und der Hinweise für die richtige Anwendung dieser Thermometer Präzisionstemperaturmessungen ohne besondere Zusatzeinrichtungen relativ einfach möglich sind.

Quecksilberglasthermometer sind als Referenznormale der Temperatur geeignet, wenn diese bestimmte Konstruktionsmerkmale und Forderungen bezüglich der zulässigen thermischen Instabilität erfüllen.

Literatur

[1] TGL 33208: Berührungsthermometer; Beschreibungsverfahren für das dynamische Verhalten.

[2] *Richter, M.:* Normalquecksilberthermometer, Beschaffenheitsmerkmale und meßtechnische Voraussetzungen. Feingerätetechnik 8 (1959) H. 12, S. 567 bis 569.

[3] *Jainz, G.; Maas, H.:* Probleme der Kalibrierung und Anwendung von Quecksilber-Glasthermometer-Normalen höchster Ordnung. Tagungsbericht vom Energetischen Institut der ČSSR (1973).

[4] ASMW-VM 193: ASMW-Vorschrift Meßwesen, Quecksilber-Glasthermometer, Referenznormale 1. und 2. Ordnung, Beglaubigung. Ausgabe März 1976.

msr 7573

Dr. sc. techn. *B. Michaelis* und Dipl.-Ing. *H. Holub*, Magdeburg[1])

Ein Verfahren zur Linearisierung nichtlinearer Kennlinien und effektiven Kalibrierung unter Nutzung von A-priori-Information

IA 1.1.9.; 4.2.3.0.

0. Einleitung

Bei meßtechnischen Problemen treten oft nichtlineare Zusammenhänge auf, die sich durch entsprechende Kennlinien beschreiben lassen.

Für die numerische Verarbeitung dieser Zusammenhänge wird in der Regel eine analytische Beziehung benötigt. Bei einer konstanten Kennlinie ist dies verhältnismäßig problemlos. Wenn sich die konkrete Kennlinie jedoch von Realisierung zu Realisierung etwas verändert oder Variationen durch Alterung eintreten, muß im Interesse eines geringen Meßfehlers die aktuelle Kennlinie bestimmt werden. Ihre Ermittlung soll in vielen Fällen mit einer möglichst geringen Anzahl von Meßpunkten erfolgen. Dabei ist auch noch die erreichbare Fehlergrenze bei der Bereitstellung der Kalibrierwerte zu beachten. Es entsteht demzufolge das Problem, einen analytischen Ausdruck zur Beschreibung der Kennlinie mit möglichst wenigen freien Parametern zu finden, die auch noch leicht zu bestimmen sind.

Nachstehend soll ein erprobtes Verfahren allgemein dargelegt werden, während ein in Vorbereitung befindlicher Beitrag [1] auf ein praktisches Anwendungsbeispiel unter Nutzung der Mikrorechentechnik eingeht.

1. Prinzipielle Vorgehensweise

Ausgangspunkt ist eine größere Anzahl repräsentativer Kennlinien, die die typischen Varianten wiedergeben.

Mit Hilfe dieser A-priori-Information sollen dem Problem angepaßte Entwicklungsfunktionen $f_i(x)$ ermittelt werden, die letztlich die einleitend formulierten Zielstellungen realisieren. Dieser Aufwand ist jedoch einmalig, und die dafür benötigten Programme sind bei der On-line-Verarbeitung der Meßwerte nicht erforderlich. Damit wird konzeptionell die im Bild 1 dargestellte Vorgehensweise eingeschlagen. Mit Hilfe eines Großrechners erfolgt eine einmalige Aufbereitungsrechnung, um für den im On-line-Betrieb arbeitenden Mikrorechner optimierte Algorithmen und Zahlenwerte zu haben. Weiterhin wird davon ausgegangen, daß die repräsentativen Kennlinien zur Aufbereitungsrechnung bereits in approximierter Form (Grundapproximation) zur Verfügung stehen (das ist mit Hilfe geeigneter Suchprogramme meist ohne größere Probleme möglich). Die Exaktheit dieser Grundapproximation bestimmt letztlich die prinzipiell erreichbaren Ergebnisse. Die p approximierten Kennlinien sollen n lineare Koeffizienten c_{ki} haben. Die beschreibende Funktion hat folgendes Aussehen

$$y_k(x) = \sum_{i=1}^{n} c_{ki}\psi_i(x)\,, \qquad k = 1, 2, \ldots, p \tag{1}$$

mit

$$x_1 \leqq x \leqq x_2\,.$$

Der Index k gibt dabei die Nummer der approximierten Meßreihe an. Die Funktionen $\psi_i(x)$ können zusätzliche nichtlineare Parameter haben, die bei der Grundapproximation geeignet ermittelt werden. Die Funktionen $\psi_i(x)$ sind aber stets für alle Kennlinien gleich.

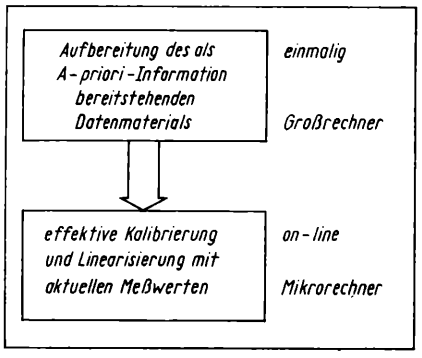


Bild 1. Aufgabenzuordnung für Groß- und Mikrorechner

2. Herleitung eines Algorithmus zur Ermittlung der Entwicklungsfunktionen

Eine Verkürzung der Reihenentwicklung Gl. (1) kann durch Elimination von Redundanz, die zur Beschreibung der realen Meßreihen nicht erforderlich ist, erfolgen. Als Nebenbedingung soll sich die Information in den ersten Termen der neuen Reihenentwicklung konzentrieren. Damit bietet sich die Methodik der Karhunen-Loeve-Entwicklung [2] sinngemäß an. Die Approximation erfolgt durch eine lineare Entwicklung der Form

$$y_k(x) = \sum_{i=1}^{n} a_{ki} f_i(x)\,. \tag{2}$$

Die f_i sind orthonormiert, d. h.

$$\int_{x_1}^{x_2} f_i(x)\, f_j(x)\, \varrho(x)\, \mathrm{d}x = \begin{cases} 1 & \text{für} \quad i = j \\ 0 & \text{für} \quad i \neq j\,. \end{cases} \tag{3}$$

x_1 und x_2 sind dabei die Grenzen des interessierenden Approximationsbereiches und $\varrho(x)$ ist die geeignet zu wählende Belegungsfunktion.

Ziel der Betrachtungen ist es, aus den vorgegebenen Kennlinien gemäß Gl. (1) eine Beschreibung der Form von Gl. (2) so zu ermitteln, daß der quadratische Beschreibungsfehler R_m bei möglichst wenigen Gliedern m im Mittel ein Minimum annimmt. Die Herleitung erfolgt in Anlehnung an die Ausführungen von *Peipmann* [3] für Merkmalsvektoren.

Als Extrembedingungen gelten:

$$R_m = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^{p} \int_{x_1}^{x_2} \left(y_k - \sum_{i=1}^{m} a_{ki} f_i(x) \right)^2 \varrho(x)\, \mathrm{d}x \Rightarrow \text{Min!} \tag{4}$$

oder

$$R_m = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^{p} \int_{x_1}^{x_2} \left(\sum_{i=m+1}^{n} a_{ki} f_i(x) \right)^2 \varrho(x)\, \mathrm{d}x \Rightarrow \text{Min!}$$

bzw. mit

$$a_{ki} = \int_{x_1}^{x_2} f_i(x)\, y_k(x)\, \varrho(x)\, \mathrm{d}x\,, \tag{3a}$$

$$R_m = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^{p} \int_{x_1}^{x_2} \left(\sum_{i=m+1}^{n} f_i(x) \int_{x_1}^{x_2} f_i(\xi)\, y_k(\xi)\, \varrho(\xi)\, \mathrm{d}\xi \right)^2 \varrho(x)\, \mathrm{d}x$$

und daraus unter Berücksichtigung von Gl. (3)

$$R_m = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^{p} \left[\sum_{i=m+1}^{n} \left(\int_{x_1}^{x_2} f_i(\xi)\, y_k(\xi)\, \varrho(\xi)\, \mathrm{d}\xi \right)^2 \right]. \tag{5}$$

Berücksichtigt man weiterhin die Darstellung der vorgegebenen Meßreihen Gl. (1), ergibt sich

[1]) Mitteilung aus der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik/Elektrotechnik.

$$R_m = \frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p}\left[\sum_{i=m+1}^{n}\left(\int_{x_1}^{x_2} f_i(\xi)\sum_{j=1}^{n} c_{kj}\psi_j(\xi)\,\varrho(\xi)\,d\xi\right)^2\right]. \tag{5a}$$

Sucht man jetzt die f_i in Form einer Linearkombination der ψ_i, d. h.

$$f_i(x) = \sum_{j=1}^{n} b_{ij}\psi_j(x)\,, \tag{6}$$

so wird aus Gl. (5a)

$$R_m = \frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p}\left[\sum_{i=m+1}^{n}\left(\int_{x_1}^{x_2}\sum_{j=1}^{n} b_{ij}\psi_j(\xi)\sum_{l=1}^{n} c_{kl}\psi_l(\xi)\,\varrho(\xi)\,d\xi\right)^2\right]. \tag{5b}$$

Mit den Abkürzungen

$$\boldsymbol{\psi} = \begin{bmatrix}\psi_1(x)\\ \vdots\\ \psi_n(x)\end{bmatrix}, \qquad \boldsymbol{b}_i = \begin{bmatrix}b_{i1}\\ \vdots\\ b_{in}\end{bmatrix} \quad \text{und} \quad \boldsymbol{c}_k' = \begin{bmatrix}c_{k1}\\ \vdots\\ c_{kn}\end{bmatrix} \tag{7}$$

vereinfacht sich Gl. (5b) zu

$$R_m = \sum_{i=m+1}^{n}\left[\frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p}\int_{x_1}^{x_2}\boldsymbol{b}_i'\boldsymbol{\psi}\boldsymbol{\psi}'\boldsymbol{c}_k\varrho(\xi)\,d\xi\int_{x_1}^{x_2}\boldsymbol{c}_k'\boldsymbol{\psi}\boldsymbol{\psi}'\boldsymbol{b}_i\varrho(\xi)\,d\xi\right] \Rightarrow \text{Min}\,.$$

Berücksichtigt man noch die Nebenbedingung Gl. (3)

$$\int_{x_1}^{x_2} f_i^2(x)\,\varrho(x)\,dx = \boldsymbol{b}_i'\int_{x_1}^{x_2}\boldsymbol{\psi}\boldsymbol{\psi}'\varrho(x)\,dx\,\boldsymbol{b}_i = 1\,, \tag{3b}$$

so kann die entstandene Extremwertaufgabe mit der Methode des Lagrangeschen Multiplikators gelöst werden.
Man erhält mit

$$\boldsymbol{\psi}^* = \int_{x_1}^{x_2}\boldsymbol{\psi}\boldsymbol{\psi}'\varrho(\xi)\,d\xi \tag{8}$$

und unter Beachtung der Tatsache, daß jeder Summand in Gl. (5b) größer als Null ist, die Beziehung

$$\frac{\partial}{\partial \boldsymbol{b}_i}\left[\boldsymbol{b}_i'\boldsymbol{\psi}^*\left(\frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p}\boldsymbol{c}_k\boldsymbol{c}_k'\right)\boldsymbol{\psi}^*\boldsymbol{b}_i - \lambda_i(\boldsymbol{b}_i'\boldsymbol{\psi}^*\boldsymbol{b}_i - 1)\right] = 0\,,$$

$$i = 1, 2, \ldots, n \tag{9}$$

zur Ermittlung der $\boldsymbol{b}_i$.
Die Auswertung von Gl. (9) führt allgemein auf ein Eigenwertproblem mit unsymmetrischer Koeffizientenmatrix. Aus numerischen Gründen ist oft eine symmetrische Matrix günstiger. Das wird erreicht, wenn auch die ψ_i ein orthonormiertes Funktionssystem bilden, für das eine Gl. (3) entsprechende Beziehung gilt. Diese Voraussetzung ist durch geeignete Transformation [4] des ursprünglichen Funktionensystems ohne Schwierigkeiten zu realisieren. Aus Gl. (9) erhält man unter dieser Voraussetzung

$$\frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p}\boldsymbol{c}_k\boldsymbol{c}_k'\boldsymbol{b}_i = \boldsymbol{D}\boldsymbol{b}_i = \lambda_i\boldsymbol{b}_i \tag{10}$$

als zugehöriges Eigenwertproblem.
Die Matrix

$$\boldsymbol{D} = \frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p}\boldsymbol{c}_k\boldsymbol{c}_k' \tag{10a}$$

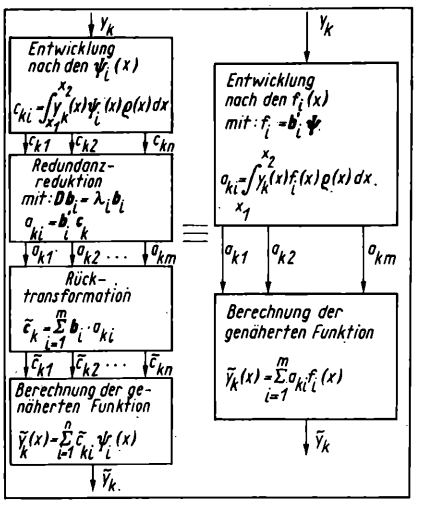
ist symmetrisch.
Unter Berücksichtigung von Gl. (6) stehen mit der Lösung des Eigenwertproblems auch die neuen Entwicklungsfunktionen

$$f_i(x) = \boldsymbol{b}_i'\boldsymbol{\psi} \tag{6a}$$

zur Verfügung.
Es ist zweckmäßig, die Entwicklungsfunktionen f_i nach fallenden Eigenwerten λ_i zu ordnen. Für den mittleren Restfehler R_m bei verkürztem Reihenabbruch erhält man:

$$R_m = \sum_{i=m+1}^{n}\lambda_i\,. \tag{11}$$

Bild 2. Veranschaulichung des hergeleiteten Algorithmus zur Ermittlung angepaßter Entwicklungsfunktionen
(Die $\psi_i(x)$ müssen ein orthonormiertes Funktionssystem bilden)



Damit ist eine einfache Abschätzung möglich, wieviel Terme bei vorgegebener Genauigkeit berücksichtigt werden müssen (Gl. (11) macht aber keine Aussagen über maximale Fehler!). Die erzielbare Verkürzung der Funktionsreihe Gl. (2) gegenüber Gl. (1), d. h. das Verhältnis m/n bei zulässigem Fehler wird um so kleiner, je schlechter die $\psi_i(x)$ dem Problem angepaßt sind, da dann n in der Grundapproximation sehr groß sein muß. Der konkrete Wert m hängt nur von den Eigenschaften der zu approximierenden Funktionengruppe ab.
Bild 2 macht noch einmal die Gewinnung der $f_i(x)$ durch Redundanzreduktion und den Zusammenhang mit dem ursprünglichen Funktionensystem $\psi_i(x)$ deutlich. Zur On-line-Verarbeitung werden nur die Größen rechts im Bild in geeignet modifizierter Form herangezogen.

3. Erweiterung des Verfahrens zur näherungsweisen Minimierung des relativen Fehlers

Während bei der Ableitung im vorhergehenden Abschnitt der mittlere absolute Fehler minimiert wurde, erstrecken sich praktische Forderungen häufig auf die (zumindest angenäherte) Minimierung des relativen Fehlers.
Um dieses Problem auf das bereits erörterte zurückzuführen, bieten sich mehrere Möglichkeiten an.

1. Es wird eine Transformation

$$\eta_k(x) = \ln\left(y_k(x)\right) \tag{12}$$

durchgeführt.

Entwickelt man jetzt $\eta_k(x)$ entsprechend Gl. (2), ergibt sich für R_m:

$$R_m = \frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p}\int_{x_1}^{x_2}\left(\eta_k(x) - \sum_{i=1}^{m} a_{ki}f_i(x)\right)^2\varrho(x)\,dx\,. \tag{13}$$

Weiterhin gilt durch Linearisierung von Gl. (12):

$$\Delta\eta_k \approx \frac{\Delta y_k}{y_k}. \tag{14}$$

Wird die Differenz in der Klammer in Gl. (13) als $\Delta\eta_k$ angesehen, folgt für R_m durch Einsetzen von Gl. (14) in Gl. (13)

$$R_m = \frac{1}{p}\sum_{k=1}^{p}\int_{x_1}^{x_2}\left(\frac{\Delta y_k}{y_k}(x)\right)^2\varrho(x)\,dx\,. \tag{13a}$$

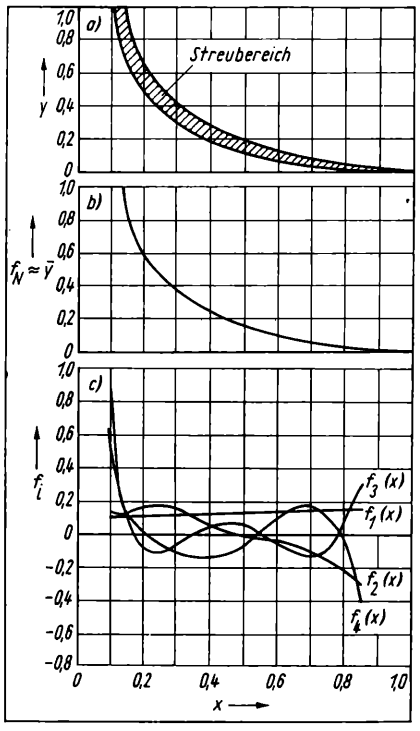


Bild 3. Zusammenstellung von prinzipiellem Kennlinienverlauf (a), Normierungsfunktion (b) und den ersten 4 Entwicklungsfunktionen (c)

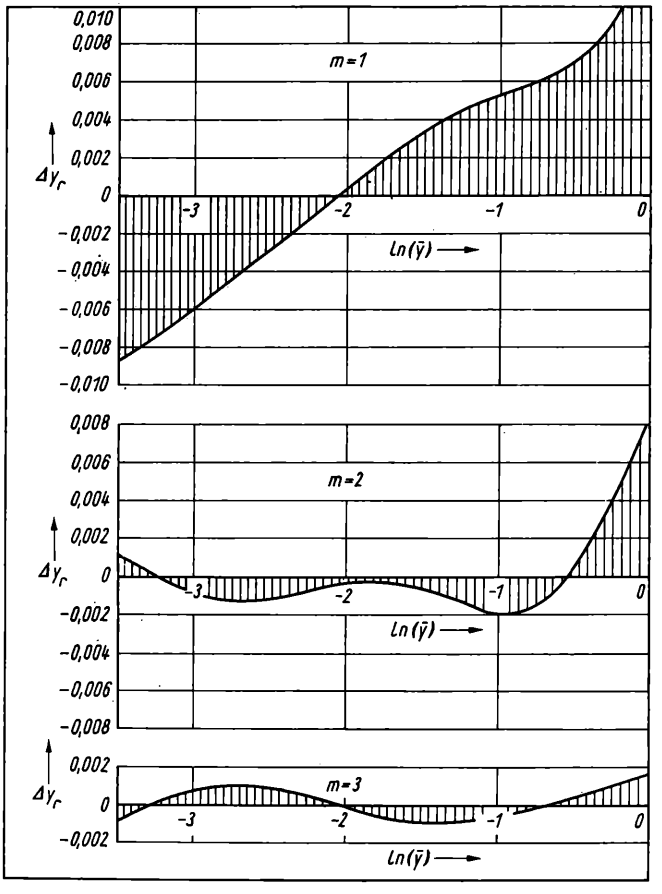


Bild 4. Beispiel für den Verlauf der relativen Abweichung gegenüber der Grundapproximation in Abhängigkeit von der Länge der Reihenentwicklung ▼

Demzufolge entspricht bei ausreichend kleinen Approximationsfehlern die Minimierung der mittleren quadratischen Abweichung von η weitgehend der Minimierung des entsprechenden relativen Wertes von y.

Die Notwendigkeit der Benutzung von transzendenten Funktionen zur Transformation schränkt jedoch die Anwendbarkeit der Methode, insbesondere für Mikrorechner, ein.

2. Entsprechend dem Einsatzbereich des Verfahrens kann oft vorausgesetzt werden, daß die vorgegebenen Kurven relativ wenig von ihrem mittleren Verlauf abweichen (Richtwert: $< 10\%$). Das erfordert manchmal eine zusätzliche Normierung, die einander proportionale Kennlinien ineinander überführt.

Dann wird ein grober Näherungsausdruck $f_N(x)$ benutzt, der den prinzipiellen Verlauf der Funktion wiedergibt und die normierte Funktion

$$\eta_k(x) = \frac{y_k(x)}{f_N(x)} \tag{15}$$

approximiert.

Da $f_N(x)$ näherungsweise mit $y_k(x)$ übereinstimmt, erhält man:

$$\Delta\eta_k = \frac{\Delta y_k}{f_N(x)} \approx \frac{\Delta y_k}{y_k}. \tag{16}$$

Damit resultiert auch bei Benutzung von Gl. (15) zur Transformation der $y_k(x)$ die Beziehung Gl. (13a) für R_m, d. h., es wird der relative Fehler minimiert.

Man erkennt, daß mit Hilfe der vorgeschlagenen Transformation auch bei Betrachtung des relativen Fehlers der angegebene Algorithmus voll einsetzbar bleibt. Dabei müssen für die erste Transformation wesentlich weniger Voraussetzungen erfüllt sein, während die zweite häufig numerisch günstiger ist.

4. Numerisches Beispiel

Der hergeleitete Algorithmus wurde u. a. für ein Anwendungsbeispiel, auf das in [1] näher eingegangen wird, ausgewertet. Dabei erfolgte auch eine Minimierung des relativen Fehlers nach Methode 2 des vorhergehenden Abschnitts.

Die wichtigsten Ergebnisse und Ausgangsdaten machen Bild 3 und Bild 4 deutlich.

Bild 3a zeigt den typischen Kennlinienverlauf und den real auftretenden Streubereich. Im Bild 3b ist die Normierungsfunktion $f_N(x)$ zum Übergang auf relative Fehler dargestellt. Bild 3c zeigt die ersten vier Entwicklungsfunktionen der neuen Reihenentwicklung.

Bild 4 macht an einem Beispiel die schnelle Konvergenz der neuen Reihenentwicklung sichtbar. Man erkennt, daß im gewählten Beispiel die Berücksichtigung von drei Termen eine Fehlergrenze von unter $2^0/_{00}$ sichert. Auch weitere Beispielrechnungen zeigten, daß bei sinnvollen Einsatzfällen (relativ kleine Varianz der Kennlinie) drei bis vier Terme meist schon recht hohen Ansprüchen an die Fehlergrenze genügen.

5. Schlußbemerkungen

Die Möglichkeit, das untersuchte Verfahren bei verschiedenen Meßeinrichtungen breiter einzusetzen, sind als günstig anzusehen, da eine deutliche Tendenz besteht, komfortable Meßgeräte mit dezentraler „Intelligenz" auszustatten. Dann ist letztlich zur Kalibrierung nur der nötige Speicherplatz zusätzlich erforderlich. Dabei müssen die hier dargelegten Methoden stets eingebettet in eine Nullpunktkorrektur, einen Abgleich des Verstärkungsfaktors und weitere Operationen, die der Prozessor realisiert, gesehen werden. Das gesamte Steuer- und Verarbeitungsprogramm der Meßeinrichtung ist oft viel umfangreicher als das Unterprogramm zur Kalibrierung.

Prinzipiell muß jedoch am betriebsfertigen Gerät (Meßfühler) die Möglichkeit zur Aufprägung von gut bekannten Werten zur Kalibrierung gewährleistet sein.

Literatur

[1] *Holub, H.; Michaelis, B.:* Ein mikrorechnergestütztes Verfahren zur Kalibrierung, Nachkalibrierung und Linearisierung der Meßfühlerkennlinie bei der Flächenmassemessung (in Vorbereitung).

[2] *Chien, Y. T.; Fu, K. S.:* On the generalized Karhunen-Loeve-expansion. IEEE Trans. Inform. Theory IT-13 (1967) S. 518–520.

[3] *Peipmann, R.:* Grundlagen der technischen Erkennung. Berlin: VEB Verlag Technik 1975.

[4] *Heber, G.:* Mathematische Hilfsmittel der Physik I. Berlin: Akademie-Verlag 1966.

msr 7560

Dr.-Ing. *J. Wede* und Dr.-Ing. *D. Werner*, Berlin[1])

Entkopplung von nicht selektiv meßbaren Prozeßgrößen unter Verwendung eines optimalen Versuchsplanes am Beispiel eines reduktiven Kupferbades

IA 2.6.; 3.2.4.

0. Einleitung

Eine der grundlegenden Voraussetzungen für die Konzipierung von Regelungsstrukturen und für die experimentelle Modellbildung von Regelstrecken ist die Meßbarkeit der relevanten Prozeßgrößen. Bei Mehrgrößensystemen ist es häufig schwierig oder gar unmöglich, alle relevanten Prozeßgrößen (Eingangs-, Ausgangs- und/oder Zustandsgrößen) selektiv, also voneinander unabhängig, zu messen. Dieser Fall wird dominierend bei Stoffvermischungsprozessen der chemischen Verfahrenstechnik auftreten. Man kann sich dann so behelfen, daß man meßbare Hilfsgrößen einführt und sich einen mathematischen Zusammenhang zwischen den meßbaren Prozeß- und diesen Hilfsgrößen und den nicht selektiv meßbaren Prozeßgrößen verschafft, der dann eine Rückrechnung auf die letzten zuläßt. Dieser Vorgang, im weiteren als Meßentkopplung bezeichnet, wird am Beispiel eines reduktiven Kupferbades unter Verwendung eines optimalen Versuchsplanes demonstriert.

1. Regelstrecke „Reduktives Kupferbad"

1.1. *Bedeutung reduktiver Kupferbäder*

Reduktive Kupferbäder zur Verkupferung bei der Leiterplattenherstellung sind eine moderne Alternative zu den konventionellen galvanischen Verfahren. Bei ihnen vollzieht sich die Kupferabscheidung ausschließlich auf der Grundlage eines chemischen Reaktionsprozesses, also ohne äußere Stromquelle. Dabei weisen sie gegenüber den galvanischen Bädern eine ganze Reihe von markanten Vorzügen auf [1]

- weniger technologische Schritte
- sparsamer Kupferverbrauch (Weltmarktpreise!), da nur dort Kupfer abgeschieden wird, wo es auf dem Leiterplattenbasismaterial durch Voraktivierung mit Palladiumkeimen vorgesehen ist
- geringere Leiterzugbreiten (und damit höhere Bauelementepackungsdichten), da der Ätzvorgang entfällt und es damit zu keiner Unterätzung kommt, die bei galvanischen Bädern eine Mindestleiterzugbreite erzwingt
- automatisches Mitverkupfern der Durchkontaktierungen bei Zwei- und Mehrebenenleiterplatten
- geringerer Energieverbrauch aufgrund der stromlosen Arbeitsweise
- umweltfreundlicher (kein Abtrennen des Kupfers aus der Ätzlösung).

Nachteilig steht dem gegenüber, daß reduktive Kupferverfahren für eine gleichmäßige Arbeitsweise (konstante Abscheidungsbedingungen, insbesondere Abscheidungsgeschwindigkeit, über einen langen Zeitraum!) eine konstante Badzusammensetzung über diesen langen Zeitraum erfordern. Daraus läßt sich die Notwendigkeit einer Regelung der Badzusammensetzung ableiten. Eine Badregelung setzt zunächst ein geeignetes Modell der Regelstrecke „Reduktives Kupferbad" voraus, das die dynamischen Abläufe beim Kupferabscheidungsvorgang beschreibt. Der Modellbildungsvorgang ist in [1] ausführlich dargestellt. Im Beitrag sollen nur die zum Verständnis der Meßentkopplung erforderlichen Grundlagen zusammengestellt werden.

1.2. *Badzusammensetzung*

Reduktive Kupferbäder bestehen in ihrer Grundzusammensetzung aus folgenden Komponenten

- Kupferionenspender
- Lauge (zur Einstellung des erforderlichen hohen pH-Wertes von etwa 11,5 ... 13)
- Komplexbildner (zur Verhinderung einer spontanen Reaktion der Kupferionen mit OH-Ionen und der Bildung von $Cu(OH)_2$)
- Reduktionsmittel (das die im Kupferionenspender enthaltenen Kupferionen zu atomarem Kupfer reduziert).

Häufig werden dem noch sog. Stabilisatoren beigefügt, die das Bad vor vorzeitigem Zerfall (spontaner Kupferausfall) schützen sollen.
In [1] wurden speziell folgende Komponenten verwendet:

- Kupfersulfat $CuSO_4$
- Natronlauge NaOH
- Na_2-Äthylendiamintetraessigsäure EDTA
- Formaldehyd HCHO

(— Triäthanolamin TEA in minimaler Dosierung)

Dem Modellbildungsansatz wurden die Bruttoreaktionsgleichung

$$\begin{aligned} &Cu^{2+} + (EDTA + TEA) + SO_4^{--} + 2\,HCHO + \\ &+ 4\,Na^+ + 4\,OH^- + H_2O \rightarrow Cu + (EDTA + TEA) + \\ &+ 2\,HCOO^- + 3\,H_2O + H_2\uparrow + SO_4^{--} + 4\,Na^+ \end{aligned} \tag{1}$$

und die Nebenreaktionsgleichung

$$2\,HCHO + OH^- \rightarrow CH_3OH + HCOO^- \tag{2}$$

nach [2] zugrunde gelegt.

1.3. *Modellbildung*

Um sinnvolle, der späteren Parameterschätzung zugängliche Strukturansätze für das reduktive Kupferbad zu finden, wurde eine theoretische Modellbildung durchgeführt. Aufgrund verschiedener, in [1] ausführlich dargelegter Randbedingungen war dazu nur die Betrachtung der Massenbilanzen für die in den Gln. (1) und (2) fixierten Komponenten erforderlich, die dann noch durch spezielle Verknüpfungsbeziehungen ergänzt wurden. Unter den Voraussetzungen eines konstanten Badvolumens (Niveauregelung), einer konstanten Temperatur (Temperaturregelung) und eines Reaktionsverlaufes entsprechend einem idealen Rührkesselreaktor (kontinuierliche Badumwälzung) findet man als Massenbilanz (hier auf die Konzentration umgerechnet) für die i-te Komponente in Gl. (1) bzw. Gl. (2):

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{c_{i\,zu}}{V} q_{i\,zu} - \frac{c_i}{V} q_{ab} \overset{+}{(-)} r_i \,. \tag{3}$$

c_i Konzentration des Stoffes i; V Badvolumen; $q_{i\,zu}$ zufließender Volumenstrom des Stoffes i; $c_{i\,zu}$ Konzentration des Stoffes i im Zufluß; q_{ab} abfließender Gesamtvolumenstrom; r_i Reaktionsgeschwindigkeit der i-ten Komponente

[1]) Mitteilung aus der AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, und dem VEB Verlag Technik, Redaktion msr.

Dazu lassen sich die folgenden Verknüpfungsbeziehungen aufstellen

$$q_{ab} = \sum_{i=1}^{n} q_{i\,zu} \qquad (n = 5)\,, \tag{4}$$

$$\varrho = \sum_{i=1}^{m} \mathfrak{M}_i c_i = \varrho_b + \varrho_u \qquad (m = 9)\,, \tag{5}$$

ϱ Baddichte; $\mathfrak{M}_i$ relative Molekülmasse der i-ten Komponente, ϱ_b bekannter Anteil der Baddichte; ϱ_u unbekannter Anteil der Baddichte (s. [1])

$$m_{Cu} = \varrho_{Cu} \cdot A \cdot d\,, \tag{6}$$

bzw.

$$d = \frac{m_{Cu}}{\varrho_{Cu} \cdot A}\,, \tag{7}$$

d Schichtdicke des abgeschiedenen Kupfers; m_{Cu} Masse des abgeschiedenen Kupfers; ϱ_{Cu} Dichte des Kupfers; A durch Kupferabscheidung bedeckte Fläche

und

$$r_i = f_i(c_1, \ldots, c_9)\,. \tag{8}$$

Gleichung (8) entspricht einem stark nichtlinearen, nicht explizit darstellbaren Zusammenhang zwischen den Komponentenreaktionsgeschwindigkeiten und allen Bandkonzentrationen.

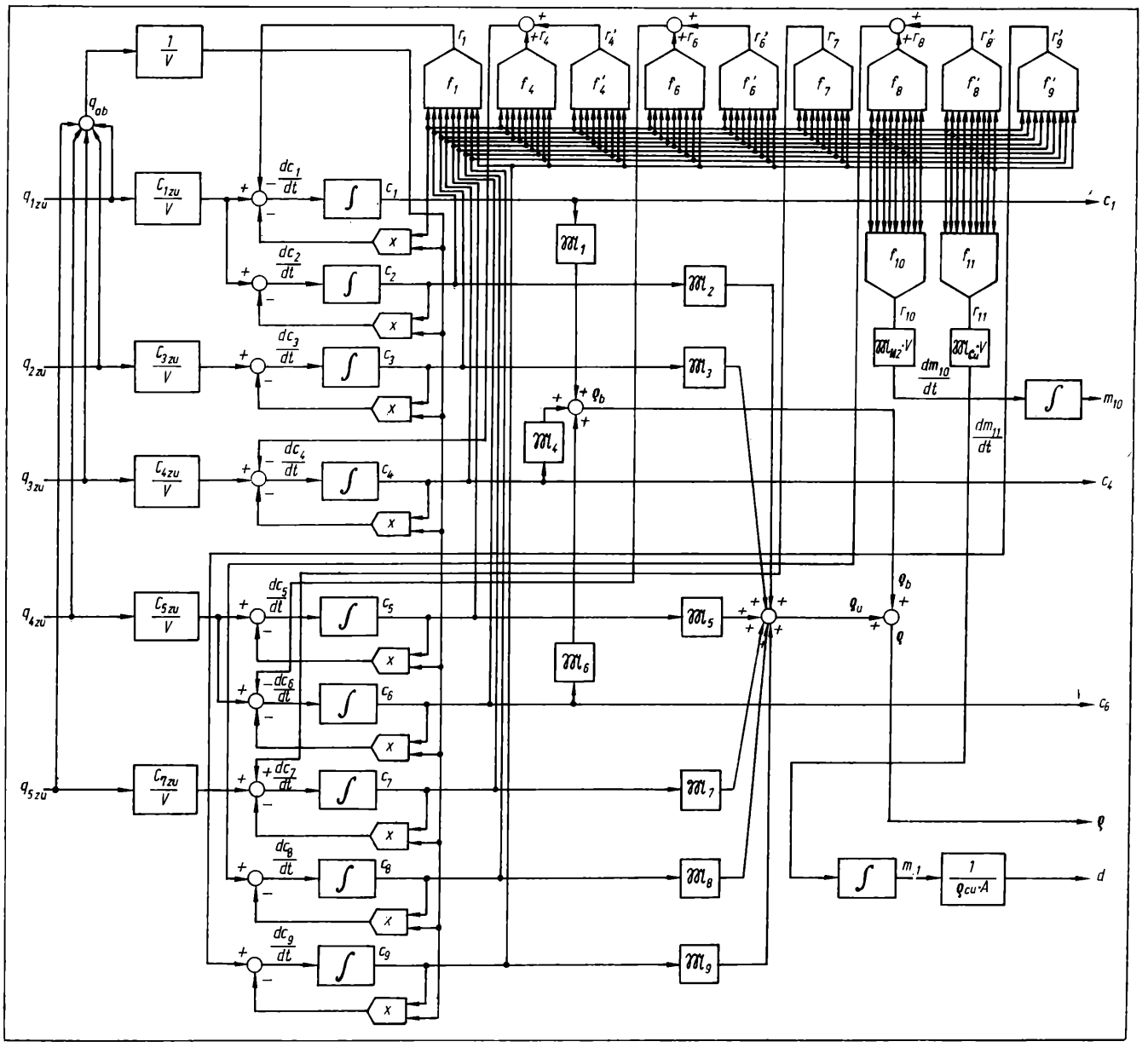
Aus den Gln. (3) bis (8) läßt sich ein Gleichungssystem entwickeln, das unter den genannten Voraussetzungen qualitativ das dynamische Verhalten des reduktiven Kupferbades beschreibt. Es ist hier der Übersichtlichkeit halber gleich als Signalflußbild im Bild 1 dargestellt. Man erkennt, daß der Zusammenhang zwischen den Ausgangsgrößen (Konzentrationen der wesentlichen Badkomponenten, Baddichte, Kupferschichtdicke) und den Eingangsgrößen durch eine relativ komplizierte Struktur und den Einfluß zahlreicher Nichtlinearitäten geprägt ist.

Unter dem Aspekt, daß die Badkomponenten EDTA und TEA nicht durch Reaktion verbraucht werden und daß es gelingt, die Badgrößen $c_{Cu^{2+}}$, c_{HCHO}, c_{OH^-} und ϱ dynamisch (im Sinne von aktuellen Messungen im Echtzeitbetrieb) zu messen, läßt sich über Taylor-Reihenentwicklung folgender um den Arbeitspunkt linearisierter Strukturansatz angeben:

$$x_i = \sum_{j=1}^{4} a_{ij} x_j + \sum_{j=1}^{4} b_{ij} u_j\,, \tag{9}$$

Bild 1. Signalflußbild des theoretischen Prozeßmodells des reduktiven Kupferbades

$q_{1zu} = q_{CuSO_4}$; $q_{2zu} = q_{(EDTA\,+\,TEA)}$; $q_{3zu} = q_{HCHO}$; $q_{4zu} = q_{NaOH}$; $q_{5zu} = q_{H_2O}$; $c_1 = c_{Cu^{2+}}$; $c_2 = c_{SO_4^{2-}}$; $c_3 = c_{(EDTA\,+\,TEA)}$; $c_4 = c_{HCHO}$; $c_5 = c_{Na^+}$; $c_6 = c_{OH^-}$; $c_7 = c_{H_2O}$; $c_8 = c_{HCOO^-}$; $c_9 = c_{CH_3OH}$; $m_{10} = m_{H_2}$; $m_{11} = m_{Cu}$



$x_1 = c_{Cu^{2+}}$; $x_2 = c_{HCHO}$; $x_3 = c_{OH^-}$; $x_4 = \varrho_u$; $u_1 = q_{Cu^{2+}zu}$; $u_2 = q_{HCHO_{zu}}$; $u_3 = q_{OH^-zu}$; $u_4 = q_{H_2O_{zu}}$ ($q_{H_2O_{zu}}$ zufließender Wasservolumenstrom zur Beeinflussung der Baddichte)
Strukturansätze entsprechend Gl. (9) wurden als Grundlage für die Schätzung der Parameter a_{ij} und b_{ij} in [1] und [3] verwendet, nachdem sie zuvor wegen der diskontinuierlich arbeitenden Meßverfahren und der rechentechnischen Auswertung diskontinuierlich gestaltet wurden.

2. Meßtechnische Erfassung der Ausgangsgrößen

Zur Schätzung der Prozeßparameter a_{ij} und b_{ij} mit Hilfe eines geeigneten Verfahrens sind die Prozeßeingangs- und -ausgangsgrößen möglichst genau zu erfassen.
Die Prozeßeingangsgrößen, die bereits angegebenen Zuflüsse $q_{Cu^{2+}zu}$, q_{OH^-zu}, $q_{HCHO_{zu}}$, $q_{H_2O_{zu}}$, wurden mit Dosierpumpen erzeugt, die aus Vorratsbehältern konstanter Konzentration gespeist werden. Der Pumpendurchsatz ist über lange Zeiträume so stabil, daß sich die Messung der Eingangsgrößen erübrigte.
Es sind also nur Meßverfahren für die relevanten Badkomponenten (s. Gl. (9)) zu entwickeln. Diese Meßverfahren müssen in der Lage sein, die einzelnen Komponenten aus dem Badgemisch heraus zu erfassen. Angestrebt werden kontinuierliche Meßverfahren oder zumindest doch Verfahren, die in genügend kurzen Zeitabständen Meßwerte liefern.
Die relevanten Badgrößen sollten nach Möglichkeit direkt (selektiv) meßbar sein. Eine eingehende Analyse von Meßverfahren [1] zeigte, daß dies für Formaldehyd HCHO, OH^--Ionenkonzentration und die Baddichte mit vertretbarem Aufwand möglich ist.

2.1. *OH^--Ionenkonzentration/-aktivität*

Die Messung der OH^--Ionenkonzentration erfolgt mit einer Glaselektrodenkette, bei der die Potentialbildung zwischen einer Glaselektrode und einer Referenzelektrode (Kalomel- oder Silber-Silberchloridelektrode) ausgenutzt wird. Als Glaselektrode wurden Typen verwendet, die für den hochalkalischen Bereich, in dem reduktive Kupferbäder arbeiten (pH >12), geeignet sind.
Zur Schonung der Elektroden mußten die Messungen diskontinuierlich und bei Temperaturen von 25 °C durchgeführt werden. Über einen Meßverstärker und ein Digitalvoltmeter wurden die Spannungswerte der Elektrodenkette gemessen.
Zwischen pH-Wert und Spannung besteht der lineare Zusammenhang

$$U_0 = a_0 + a_1 pH \,. \tag{10}$$

Die Konstanten a_0, a_1 werden durch Messungen mit hochstabilen Labor-pH-Puffern mit linearer Regression bestimmt.
Eine in der Badprobe gemessene Spannung U_0 liefert dann den pH-Wert

$$pH = \frac{U_0 - a_0}{a_1} \,. \tag{11}$$

Nach der Definition von *Sörensen* ist der pH-Wert

$$pH = -\lg a_{H^+} \,, \tag{12}$$

wobei a_{H^+} die Wasserstoffionenaktivität, d. h. die elektrochemisch wirksame H^+-Ionenkonzentration ist.
Mit dem Ionenprodukt des Wassers ergibt sich für die OH^--Ionenaktivität

$$a_{OH^-} = 10^{-(14-pH)} \,, \qquad (T = 20\ °C) \,. \tag{13}$$

Der pH-Wert bzw. die OH^--Ionenaktivität bestimmen sich nicht nur aus der eingewogenen OH^--Ionenkonzentration, sondern hängen stark von den anderen Badkomponenten ab.

2.2. *Messung der Formaldehydkonzentration*

Die Messung beruht auf einer zweistufigen Titration der Badlösung.
Folgende Reaktionsgleichung liegt der Messung zugrunde:

$$HCHO + Na_2SO_3 + H_2O \rightarrow CH_2(NaSO_3)\,OH + NaOH \,. \tag{14}$$

Durch Zugabe von Natriumsulfit Na_2SO_3 werden OH^--Ionen aus dem Formaldehyd freigesetzt. Die Messung erfolgt so, daß zunächst eine Badprobe durch Titration auf den pH-Wert 9 gebracht wird. Dieser Probe wird eine definierte Menge Na_2SO_3 zugesetzt, die zuvor ebenfalls auf einen pH-Wert von 9 gebracht worden ist. In dieser Lösung erfolgt nun die Reaktion gemäß Gl. (14).
Mit Salzsäure definierter Konzentration wird wiederum bis zum pH-Wert 9 titriert. Aus dem Titervolumen und den Probenvolumina kann dann die Formaldehydkonzentration berechnet werden. Die erste Titration liefert zusätzlich einen Meßwert für die OH^--Ionenkonzentration.
Diese Messung kann nur diskontinuierlich durchgeführt werden, jedoch ist die Meßfolge kurzzeitig genug, um der Baddynamik zu folgen.
Die Untersuchung einer kontinuierlichen Meßmethode nach [4] ergab eine für die Modellbildung zu große Ungenauigkeit des Verfahrens [1].

2.3. *Baddichtemessung*

Die Messung der Baddichte erfolgte mit Hilfe eines Satzes sehr fein geteilter Aräometerspindeln, wobei darauf geachtet werden mußte, daß an ihnen keine Wasserstoffbläschen hafteten, die laut Gl. (1) entstehen. Diese Messung wurde ebenfalls diskontinuierlich durchgeführt.

2.4. *Erfassung der Kupferionenkonzentration*

Die im EDTA-Komplex gebundene Kupferionenkonzentration $c_{Cu^{2+}}$ läßt sich mit einfachen Mitteln über die Extinktion E als sekundärer Größe messen.

$$E = \lg \frac{\Phi_0}{\Phi} = \varepsilon(c_{Cu^{2+}}, c_{OH^-}, c_{HCHO}, c_{EDTA}, T, \lambda)\, d \,. \tag{15}$$

Φ_0 Intensität des einfallenden Lichtes; Φ Intensität des durchgelassenen Lichtes; ε Extinktionskoeffizient; T Temperatur der untersuchten Lösung; λ Wellenlänge des Lichtes; d Dicke der Meßküvette
Aufgrund konzentrationsabhängiger Wechselwirkungen ist das Lambert-Beersche Gesetz hier in dieser Form anzusetzen. Die Badkomponente TEA ist im vorliegenden Konzentrationsbereich ohne nachweisbaren Einfluß auf die Extinktion.
Für ein Arbeitspunktbad (Normalzusammensetzung) ergibt sich eine Abhängigkeit der Extinktion von der Wellenlänge nach Bild 2. Das Maximum der Extinktion liegt bei einer Wellenlänge von 740 nm. Detaillierte Vorversuche zeigten bei dieser Wellenlänge auch die stärkste Abhängigkeit der Extinktion von der Cu^{2+}-Ionenkonzentration. Für das Meßverfahren wurde deshalb diese Wellenlänge zugrunde gelegt.
Wegen der Wechselwirkungen liefert die Extinktion allein noch keine Aussage über die Kupferkonzentration.

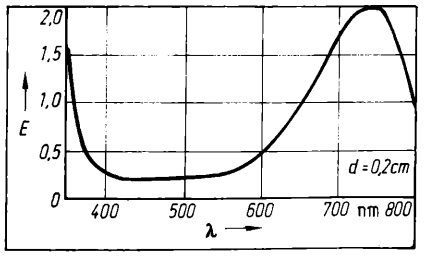
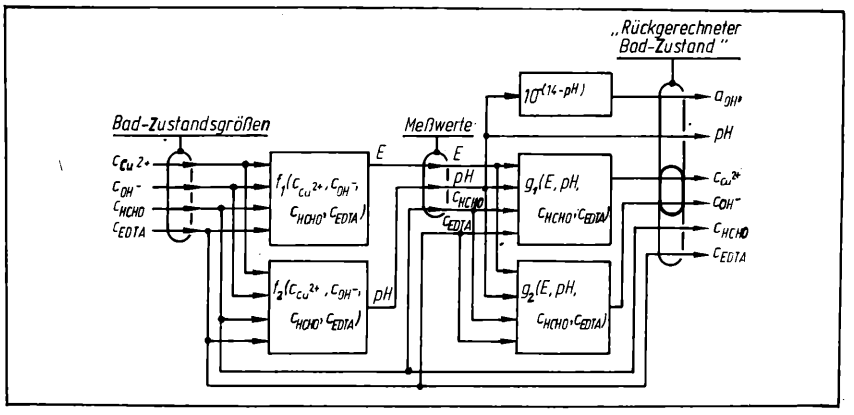


Bild 2. Extinktion als Funktion der Wellenlänge

Bild 3. Veranschaulichung der Meßentkopplungsaufgabe



Im folgenden wird eine Methode dargestellt, die es ermöglicht, die Zusammenhänge zwischen der Extinktion und den Prozeßvariablen im interessierenden Konzentrationsgebiet zu ermitteln.

3. Meßentkopplung

3.1. Aufgabenstellung zur Meßentkopplung

Wie bereits dargestellt, ist die Extinktion von den wesentlichen Badkomponenten abhängig (Bild 3, f_1).
Der *pH*-Wert ist ebenfalls nicht nur eine Funktion der eingewogenen OH^--Ionenkonzentration im Bad, sondern eine Funktion der Badkomponenten (Bild 3, f_2).
Aufgabe einer Meßentkopplung ist es, einen geeigneten und möglichst einfachen funktionellen Zusammenhang zu finden, der die Meßgrößen in Abhängigkeit von den relevanten Meßgrößen wertemäßig fixiert und eine Rückrechnung auf die nicht meßbaren Badgrößen ermöglicht (Bild 3, g_1 und g_2). Bild 3 verdeutlicht die Aufgabe der Meßentkopplung.

3.2. Analyse der Verkopplung der Meßgrößen durch statische Regression

Zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den Meßgrößen *E*, *pH* und den Badzustandsgrößen wird zweckmäßigerweise eine statische Regression durchgeführt, die die Parameter einer angenommenen Approximationsstruktur liefert.
Als Optimierungskriterium dient das Minimum der Summe der Abweichungsquadrate zwischen den Meßwerten und den aus der Approximationsstruktur berechneten Werten (Methode der kleinsten Quadrate).
Bei der Durchführung der Regression sind folgende Schritte abzuarbeiten

- Abgrenzung der Eingangsgrößenbereiche, in denen Messungen durchgeführt werden sollen; Festlegung des Gültigkeitsbereiches des Modells (Abschn. 3.2.1.)
- Auswahl der Approximationsstruktur (Abschn. 3.2.2.)
- geeignete Standardisierung der Eingangsgrößen (Abschn. 3.2.3.)
- Festlegung einer Versuchspunktanordnung innerhalb der Eingangsgrößenbereiche bei minimalem Aufwand und hoher Modellgüte; Optimale Versuchsplanung (Abschn. 3.2.4.)
- Durchführung der Messungen (Abschn. 3.2.5.)
- Durchführung der Regression und Ableitung der Modellgleichungen (Abschn. 3.2.6.)
- Überprüfung der Modelle mit statistischen Tests; falls erforderlich, Wahl einer anderen Approximationsstruktur (Abschn. 3.2.7.).

3.2.1. Festlegung der Eingangsgrößenbereiche

Im vorliegenden Fall des reduktiven Kupferbades ist der Bereich, der durch das Modell beschrieben werden soll, durch folgende Konzentrationsintervalle (Eingangsgrößen) gegeben.

Kupferionenkonzentration $c_{Cu^{2+}}$	0,03 ... 0,05 Mol/l
OH^--Ionenkonzentration c_{OH^-}	0,21 ... 0,33 Mol/l
HCHO-Konzentration c_{HCHO}	0,15 ... 0,25 Mol/l
EDTA-Konzentration c_{EDTA}	0,05 ... 0,06 Mol/l

Es wird sich zeigen, daß es günstiger ist, nicht mit diesen „natürlichen" Variablen zu arbeiten, sondern eine Normierung der Variablen durchzuführen.

3.2.2. Auswahl einer Approximationsstruktur

Üblicherweise werden Approximationsstrukturen der Form

$$y(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{\Theta}) = \boldsymbol{f}^T(\boldsymbol{x})\,\boldsymbol{\Theta} \tag{16}$$

mit $\boldsymbol{f}^T(\boldsymbol{x}) = (f_0(\boldsymbol{x}), f_1(\boldsymbol{x}), \ldots, f_n(\boldsymbol{x}))$, und $\boldsymbol{\Theta}^T = (\Theta_0, \Theta_1, \ldots, \Theta_n)$ verwendet [5].
Im allgemeinen wird die Approximationsstruktur (16) in eine Taylor-Reihe um den Mittelpunkt des Experimentiergebietes entwickelt. Die wichtigsten Ansätze sind dabei die erster und zweiter Ordnung. Sie lassen sich in der folgenden Form gemeinsam darstellen:

$$y(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{\Theta}) = \boldsymbol{x}^T \boldsymbol{\Theta} \boldsymbol{x} \tag{17}$$

mit $\boldsymbol{x}^T = (1, x_1, x_2, \ldots, x_m)$

$$\boldsymbol{\Theta} = \begin{pmatrix} \Theta_{00} & \Theta_{01} & \cdots & \Theta_{0,m-1} & \Theta_{0,m} \\ 0 & \Theta_{11} & \cdots & \Theta_{1,m-1} & \Theta_{1,m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \Theta_{m-1,m-1} & \Theta_{m-1,m} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & \Theta_{m,m} \end{pmatrix}.$$

Für den Ansatz erster Ordnung gilt dabei $\Theta_{ij} = 0$ für $i \neq 0$. Die Anzahl der zu schätzenden Parameter ergibt sich zu

$$a = \binom{m+d}{d} = \frac{(m+d)!}{m!\,d!}. \tag{18}$$

Zur Schätzung dieser Parameter werden Versuche durchgeführt, wobei die Eingangsgrößen entsprechend einem Versuchsplan gewählt werden, der die Lage der Versuchspunkte im Versuchsraum festlegt.
Ausgeschrieben bedeutet das, daß man zu *n* Eingangskombinationen *n* gemessene Ausgangsgrößen erhält:

$$\left.\begin{aligned} y_1 &= y_1(x_{11}, x_{21}, \ldots, x_{m1}), \\ y_2 &= y_2(x_{12}, x_{22}, \ldots, x_{m2}) \\ &\vdots \\ y_n &= y_n(x_{1n}, x_{2n}, \ldots, x_{mn}), \end{aligned}\right\} \tag{19}$$

wobei *j* in x_{ij} die Versuchsnummer bezeichnet.

Als Optimierungskriterium soll, wie bereits erwähnt, die Summe der Abweichungsquadrate herangezogen werden

$$\sum_{j=1}^{n} (y_j(\boldsymbol{x}_j) - \boldsymbol{x}_j^T \boldsymbol{\Theta} \boldsymbol{x}_j)^2 \rightarrow \text{Min} . \tag{20}$$

Vektoriell umgeordnet mit

$$\boldsymbol{y}^T = (y_1, y_2, \dots, y_n); \quad \boldsymbol{\Theta}^T = (\Theta_{00} \dots \Theta_{0m} \mid \Theta_{11} \dots \Theta_{1m} \mid \dots \mid \Theta_{m-1,m-1}\, \Theta_{m-1,m} \mid \Theta_{m,m}),$$

$$\boldsymbol{M} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} \dots x_{m1} & x_{11}^2 \dots (x_{11}x_{m1}) & \dots & x_{m-1,1}^2 (x_{m-1,1} x_{m,1}) & x_{m,1}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{1n} \dots x_{mn} & x_{1n}^2 \dots (x_{1n}x_{mn}) & \dots & x_{m-1,n}^2 (x_{m-1,n} x_{m,n}) & x_{m,n}^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{z}_1^T \\ \vdots \\ \boldsymbol{z}_n^T \end{pmatrix},$$

lautet die Gl. (20)

$$(\boldsymbol{y} - \boldsymbol{M\Theta})^T (\boldsymbol{y} - \boldsymbol{M\Theta}) \rightarrow \text{Min} . \tag{21}$$

Nullsetzen des Gradienten dieser Gleichung und eine einfache Umformung liefern den Parameterschätzwert

$$\hat{\boldsymbol{\Theta}} = (\boldsymbol{M}^T\boldsymbol{M})^{-1} \boldsymbol{M}^T \boldsymbol{y} . \tag{22}$$

3.2.3. Standardisierung der Eingangsgrößen

Da es sich bei dem Approximationsansatz Gl. (17) um eine Taylor-Reihenentwicklung handelt, liegt zunächst eine Transformation der Eingangsgrößen nahe, wobei die Variablen durch die Abweichung vom Mittelwert des jeweiligen Eingangsgrößenbereiches charakterisiert werden.

Im nächsten Schritt wird die so transformierte Eingangsgröße auf eine bestimmte Abweichung vom Mittelwert bezogen, bei der die standardisierte Variable den Wert „1" haben soll. Die standardisierte Eingangsgröße lautet dann:

$$x_i = \frac{c_i - \bar{c}_i}{c_{i1} - \bar{c}_i} . \tag{23}$$

c_i aktueller Wert der i-ten natürlichen Variablen, $i = 1, 2, 3, 4$; $\bar{c}_i$ Mittelwert des Eingangsgrößenbereiches; c_{i1} Wert von c_i, der $x_i = 1$ ergeben soll; x_i standardisierte Variable

Nach der Ermittlung der Parameter können die standardisierten Variablen wieder auf die natürlichen umgerechnet werden, wodurch sich natürlich dementsprechend die Parameter ändern. Der Vorteil der Standardisierung wird bei der folgenden Aufstellung optimaler Versuchspläne deutlich.

3.2.4. Statistische Versuchsplanung

Die Aufgabe der Versuchsplanung besteht bei der Schätzung der Parameter des Approximationsmodells darin, die Genauigkeit des Modells im Sinne eines Optimalitätskriteriums, das die Informationsmatrix $\boldsymbol{IM}$ des Versuchsplanes V_n

$$\boldsymbol{IM}(V_n) = \frac{1}{n} \boldsymbol{M}^T\boldsymbol{M} \tag{24}$$

enthält, durch geeignete Wahl der Meßpunkte $x_{i1}, \dots, x_{in}$, $i = 1, 2, \dots, m$ zu verbessern [5].

Für die Versuchspläne erster und zweiter Ordnung (Gl. (17)), die die Gesamtheit aller Punkte, an denen Versuche durchgeführt werden, umfassen, sind besonders die Kriterien der Orthogonalität und der Drehbarkeit wesentlich [5]. Der orthogonale Versuchsplan zeichnet sich dadurch aus, daß die Informationsmatrix eine Diagonalmatrix ist.

$$\frac{1}{n} \boldsymbol{M}^T\boldsymbol{M} = \begin{pmatrix} d_1 & & 0 \\ & d_2 & \\ & & \ddots \\ 0 & & d_m \end{pmatrix} . \tag{25}$$

Damit ist die Kovarianzmatrix der geschätzten Parameter $\hat{\boldsymbol{\Theta}}$ ebenfalls eine Diagonalmatrix.

$$\boldsymbol{B}_{\hat{\Theta}} = \sigma^2 (\boldsymbol{M}^T\boldsymbol{M})^{-1} . \tag{26}$$

Die Streuung des zu schätzenden Parameters Θ_i ist dann das Produkt des entsprechenden Diagonalelements von $(\boldsymbol{M}^T\boldsymbol{M})^{-1}$ und σ^2 ($\sigma^2 = D^2Y(\boldsymbol{x})$-Varianz von $Y(\boldsymbol{x})$, bzw. als Näherung dafür das Quadrat der Streuung der Abweichung zwischen Modellausgangsgröße und gemessener Ausgangsgröße).

Beim drehbaren Versuchsplan für einen symmetrischen Versuchsbereich ist die Varianzfunktion $D^2Y(\boldsymbol{x})$ der Schätzung nur vom Abstand $\varrho = |\boldsymbol{x}|$ des Punktes $\boldsymbol{x}$ vom Ursprung abhängig.

$$D^2Y(\boldsymbol{x}) = \sigma^2 \boldsymbol{z}^T(\boldsymbol{x}) (\boldsymbol{M}^T\boldsymbol{M})^{-1} \boldsymbol{z}(\boldsymbol{x}) = h(\varrho) . \tag{27}$$

In der Praxis werden überwiegend orthogonale bzw. drehbare Pläne verwendet, deren Variable in der bereits angeführten Form standardisiert wurden.

Im Fall eines Planes erster Ordnung ergeben sich in standardisierter Form nur die Variablenwerte $+1$ und -1, womit sich der Rechenaufwand bei der Regression erheblich verringert. Hierfür eignen sich vollständige Faktorenpläne vom Typ 2^k oder Teilfaktorenpläne vom Typ 2^{k-p} (orthogonale Pläne).

Die Pläne für Ansätze zweiter Ordnung basieren meistens auf dem Kriterium der Drehbarkeit. Als besonders praktikabel hat sich der Teilfaktorplan nach *Box* und *Hunter* [6] erwiesen. Die Versuchspunkte sind dabei wie folgt verteilt:

Auf jeder Achse der standardisierten Variablen werden zwei Versuche mit den Niveaus $+\alpha$ und $-\alpha$ durchgeführt, d. h., $2m$ Versuche. α hängt von der Anzahl der Variablen ab (s. Tafel 1).

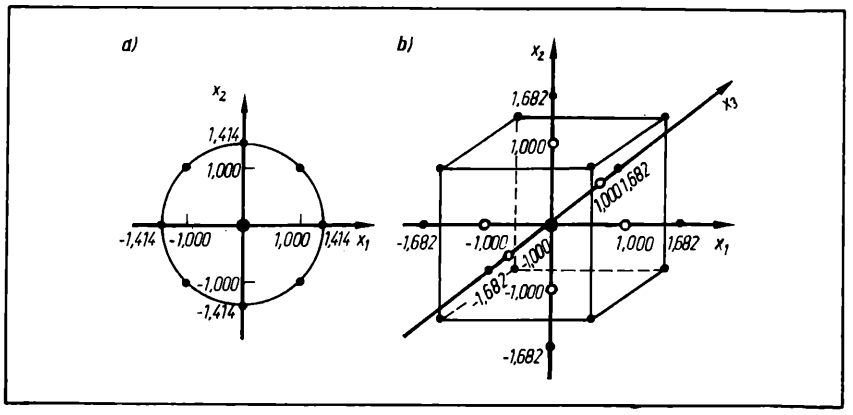


Bild 4. Anordnung der Versuchspunkte im Box-Hunter-Plan für a) zwei Eingangsgrößen; b) drei Eingangsgrößen

● Versuchspunkt;
○ Durchstoßpunkt der Achse

Bei allen möglichen Kombinationen der Variablen auf den Niveaus $+1$ und -1 werden Versuche durchgeführt, d. h., 2^m Versuche.

Im Koordinatenursprung (alle $x_l = 0$) werden weitere n_0 Versuche gemacht. Damit ergibt sich eine Gesamtzahl von

$$n = 2^m + 2m + n_0 \tag{28}$$

Versuchen.

Tafel 1 faßt die wesentlichen Größen des Box-Hunter-Planes für zwei bis sechs Variable zusammen.

Eine grafische Darstellung der Versuchspunktverteilung für zwei und drei Variable zeigt Bild 4.

Die Niveaus $+\alpha$ und $-\alpha$ werden so gelegt, daß sie den Grenzen des vorgegebenen Konzentrationsbereiches entsprechen.

Damit ergibt sich aus Gl. (23) für die $+1/-1$-Niveaus die Konzentration

$$c_{il} = \frac{c_l - \bar{c}_l}{\alpha} + \bar{c}_l \,. \tag{29}$$

Tafel 1. Wesentliche Größen des Box-Hunter-Planes

m	2^m	$2m$	n_0	n	α
2	4	4	5	13	1,414
3	8	6	6	20	1,682
4	16	8	7	31	2.000
5	32	10	10	52	2,378
6	64	12	15	91	2,828

msr 7630 (Beitrag wird fortgesetzt)

Dr.-Ing. *J. Beuschel*, Berlin[1])

Zuverlässigkeit ständig kontrollierter Automatisierungsfunktionen

IA. 4.1.4.

0. Einleitung

Die Kontrolle von Automatisierungsfunktionen (AF) ist eine notwendige Bedingung, um die erforderliche Verfügbarkeit von Automatisierungsanlagen und ihr sicheres Betreiben zu gewährleisten. Das breite Aufgabenspektrum der Kontrollfunktion (KF) — von der Überwachung elementarer AF bis zur Realisierung effektiver Abwehrstrategien nach Ausfallfeststellung — qualifiziert sie zu einem bedeutenden Faktor, um in der dritten Ebene des Reproduktionsprozesses erhebliche volkswirtschaftliche Reserven zu erschließen [1]. Dies stellt an das Zuverlässigkeitsverhalten kontrollierter AF hohe Anforderungen bzw. erfordert ihre quantifizierbare Beurteilbarkeit und Projektierbarkeit.

Im Beitrag werden allgemeine, zuverlässigkeitsrelevante Merkmale der Kontrolle abgehoben, Zuverlässigkeitskenngrößen von KF definiert und berechnet und ihr Einfluß auf das Zuverlässigkeitsverhalten des Systems „ständig kontrollierte AF" aufgezeigt. Für KF, die mit Aufgaben der Prozeßsicherung betraut sind, wird ein Sicherheitsfaktor für ihre quantitative Beurteilung definiert und berechnet.

1. Zur Kennzeichnung der Kontrollfunktion

1.1. Vorbemerkung zu ihrer Geschichte

Die Ablösung der Manufakturarbeit durch die Anwendung von Maschinen und Maschinensystemen im 18./19. Jahrhundert verdrängte den Operateur aus technischer Sicht von seiner exponierten Stellung in der Produktion als alleiniger Beherrscher der Schnittstelle Arbeitsmittel—Arbeitsgegenstand. Mit der Emanzipation „von der organischen Schranke, wodurch das Handwerkszeug eines Arbeiters beengt wird" [2], ging auch die mit der manuellen Handhabung von Werkzeugen einhergehende ständige unmittelbare und umfassende Kontrolle des technischen Prozesses durch den Operateur verloren. In zunehmendem Maße übernahm der Operateur im Mensch-Maschine-System die Steuerfunktion und die Kontrolle, die relativ grob sowohl hinsichtlich ihrer zeitlichen Stetigkeit als auch ihres funktionellen Umfanges war. Möglich war diese Kontrollstrategie durch die das Zuverlässigkeitsverhalten der Maschinen bestimmenden Driftprozesse, deren Parameter im wesentlichen aus Erfahrungswerten bekannt waren. Die Automatisierung der Produktion im 20. Jahrhundert entlastete den Operateur von zahlreichen geistigen Funktionen, überforderte ihn aber (infolge seiner „organischen Schranken") hinsichtlich der Kontrolle von AF. Die Kontrolle der zahlreichen Automatisierungselemente mit komplizierten materiellen Wechselwirkungen und dem, insbesondere für elektronische Geräte typischen, nur von der Zeitdauer abhängigen Ausfallverhalten, erforderte zusätzliche Geräte für ihre Bewältigung. Spezielle Kontrolleinrichtungen mußten installiert werden, um jegliche unplanmäßigen, für die Funktionserfüllung schädlichen Ereignisse sofort feststellen und geeignete Gegenmaßnahmen einleiten zu können, die weitere Folgeschäden verhinderten. Während die unplanmäßigen Ereignisse hauptsächlich durch Ausfälle von AF und technologischen Anlagen, Fehlhandlungen des Operateurs oder externe Störungen bedingt sind, zählen zu den Folgen insbesondere Havarien, Stillstandszeiten in der Produktion, Qualitäts- und Arbeitsproduktivitätsminderungen, Reparaturen u. a.

1.2. Zuverlässigkeitsrelevante Merkmale der Kontrolle

Gegenwärtig existieren Kontrolleinrichtungen für eine Vielzahl von Aufgaben unterschiedlichster Komplexität auf allen Hierarchieebenen von Automatisierungsanlagen (Tafel 1). Folgende Gemeinsamkeiten sind erkennbar:

- Die Kompliziertheit ihrer Funktionsweise korreliert positiv mit der Kompliziertheit der zu überwachenden Automatisierungseinrichtung.
- Aus Gründen der Ökonomie oder anderer limitierender Faktoren sind den technischen Kenngrößen der KF Beschränkungen auferlegt.
- Die Kontrolle bedingt gemeinsame Schnittstellen zwischen Kontrolleinrichtung und der von ihr kontrollierten Automatisierungseinrichtung.

Für die Zuverlässigkeit des Systems KF—AF lassen sich damit folgende relevante Sachverhalte abheben:

- Ausfälle der KF sind wahrscheinlich; ihre endliche Zuverlässigkeit rechtfertigt eine Frage, die bereits die alten Römer

[1]) Mitteilung aus dem Institut für Regelungstechnik, Forschungszentrum des VEB Kombinat Elektro-Apparate-Werke „Friedrich Ebert", Berlin.

Tafel 1. Kontrollaufgaben für verschiedene Automatisierungsebenen

Aufgabe	Beispiele
Überwachung elementarer Funktionen	Kontrolle des Öffnens/Schließens von Stellantrieben, Spannungsüberwachung, Paritätenprüfung bei Datenübertragungen u. a.
Kontrolle von Operateurhandlungen	verschiedene Schutzeinrichtungen
Eigenüberwachung	in Automatisierungseinrichtungen integrierte Kontrolle (Autodiagnose)
Qualitätskontrolle	automatische Einrichtungen für die Endkontrolle von Erzeugnissen in Fertigungsprozessen
Fehlerfeststellung und -lokalisierung	Diagnoseeinrichtungen für Instandhaltungsprozesse
Unterstützung der Kontrollfunktion des Operateurs	Informationssystem in Automatisierungsanlagen
Erkennen gefährlicher Situationen und Realisierung von Abwehrstrategien	System der Prozeßsicherung in Automatisierungsanlagen

bewegte: „Sed quis custodiet ipsos custodies? (aber wer wacht über die Wächter?)".

- Eine umfassende Kontrolle der funktionellen Vielfalt von Automatisierungsprozessen ist nicht immer möglich (notwendig). Der Kontrollumfang muß im Hinblick auf die der AF auferlegten Verantwortung und den entsprechenden gerätetechnischen Aufwand sinnvoll begrenzt werden.
- Ausfälle der Kontrolleinrichtung können, bedingt durch gemeinsame Schnittstellen, die Funktionsbedingungen der Automatisierungseinrichtung beeinflussen, was zu einer statistischen Abhängigkeit zwischen den Ausfällen der KF und der AF führt.
- Die Kontrolle erhöht nicht die Zuverlässigkeit (im Sinne der Überlebenswahrscheinlichkeit) der kontrollierten Einrichtung, beeinflußt aber wesentlich ihre Verfügbarkeit und die Zuverlässigkeitskenngrößen des übergeordneten technischen Prozesses.

2. Zuverlässigkeitskenngrößen für die Kontrollfunktion

2.1. Einflußfaktoren

In Tafel 2 wurde eine Klassifizierung der KF nach verschiedenen Einflußfaktoren vorgenommen. Je nach Berücksichtigung der Faktoren sind verschieden komplizierte Modelle zur Beschreibung der Zuverlässigkeit kontrollierter Systeme anzusetzen. In den weiteren Ausführungen gelten folgende Einschränkungen für die KF und die AF:

- die Kontrolle erfolgt ständig
- die Ausfallraten λ_i der n Elemente der Kontrolleinrichtung sei konstant
- die ausfallfreie Zeit der AF sei exponentiell mit dem Parameter Λ verteilt
- der Kontrollumfang sei begrenzt.

Tafel 2. Faktoren zur Beurteilung der Kontrollfunktion

Faktor	Möglichkeiten
Arbeitsregime	ständig, periodisch, zufällig
Kontrollumfang	vollständig, begrenzt
Ausfallverhalten	absolut zuverlässig, verschiedene Verteilungsgesetze
Überwachung der KF	keine, periodische, ständige, zufällige
Reparatur	ohne Reparatur, verschiedene Reparaturstrategien

Auf die Bedeutung der (mikrorechnergestützten) permanenten Zustandsüberwachung für die Realisierung effektiver Instandhaltungsstrategien wurde in [3] hingewiesen. Hier werden die Möglichkeiten der Reparatur der Automatisierungseinrichtung bzw. der Überprüfung der KF nicht berücksichtigt, um den Einfluß der Zuverlässigkeitskenngrößen der KF auf das Zuverlässigkeitsverhalten des Systems KF-AF besser veranschaulichen zu können.

2.2. Kenngrößen [4]

2.2.1. Zuverlässigkeit der KF

Die Zuverlässigkeit im engerem Sinne der KF wird mit der normierten Ausfallrate η der KF beschrieben:

$$\eta = \frac{1}{\Lambda} \sum_{i=1}^{n} \lambda_i , \qquad \eta \geqq 0 . \tag{1}$$

2.2.2. Kontrollumfang

Der Kontrollumfang ist ein Maß für die Vollständigkeit der Kontrolle der AF. Wenn dem kontrollierten Umfang der AF eine Ausfallrate Λ_k entspricht, so kann der Kontrollumfang für zuverlässigkeitstheoretische Überlegungen mit der normierten Größe

$$\varepsilon = \frac{\Lambda_k}{\Lambda} , \qquad 0 \leqq \varepsilon \leqq 1 \tag{2}$$

erfaßt werden. Physikalisch möglich sind die vollständige ($\varepsilon = 1$) und die begrenzte ($0 \leqq \varepsilon < 1$) Kontrolle.

2.2.3. Statistische Kopplung

Bei Ausfällen der Elemente KF mit den entsprechenden Ausfallraten λ_i kann die Ausfallrate der Automatisierungseinrichtung den Wert $\Lambda^{(i)} \neq \Lambda$ annehmen. Die statistische Abhängigkeit zwischen Ausfällen der KF und der AF wird durch den genormten Kopplungsfaktor

$$\varkappa = \frac{\Lambda^{(\varkappa)}}{\Lambda} , \tag{3}$$

wobei

$$\Lambda^{(\varkappa)} = \frac{1}{\eta \cdot \Lambda} \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \cdot \Lambda^{(i)} \quad \text{für} \quad \lambda_i \cdot t \ll 1$$

gilt, beschrieben.
Haben Ausfälle der KF keinen Einfluß auf die Automatisierungseinrichtung, so wird wegen $\Lambda^{(i)} = \Lambda$; $i = 1, \ldots, n$; $\varkappa = 1$.

3. Zuverlässigkeit der ständig kontrollierten Automatisierungsfunktion

3.1. Zuverlässigkeitsmodelle

Für die Diskussion des Einflusses der Zuverlässigkeitskenngrößen der KF ist es wichtig zu wissen, inwieweit die Kontrollfunktion in den übergeordneten technischen Prozeß funktionell eingeordnet ist. Eine analoge Fragestellung für AF in bezug auf Automatisierungsobjekte wird in [5] aufgeworfen. Muß die Kontrollfunktion als unerläßlich für den übergeordneten Prozeß angesehen werden, so ist im zuverlässigkeitstheoretischen Sinne von einem modifizierten logischen Seriensystem von AF und KF auszugehen (Modell 2). Ist die Kontrolle funktionsunterstützend für den übergeordneten Prozeß, so daß ihre Nichtverfügbarkeit „zeitweilig tolerierbar" ist, erhalten wir ein im zuverlässigkeitstheoretischen Sinne modifiziertes Parallelsystem (Modell 1). Das Zuverlässigkeitsverhalten für beide Modelle wird mit Hilfe eines Zustandsgraphen im Bild 1 gezeigt. Die einzelnen Zustände bedeuten:

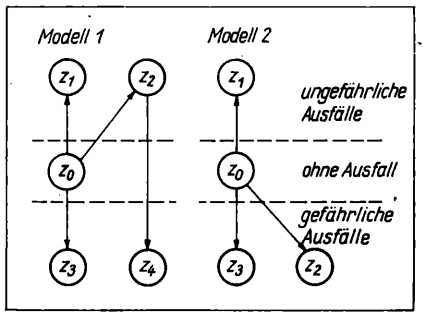


Bild 1. Zuverlässigkeitsverhalten ständig kontrollierter AF

Tafel 3. Gefährliche und ungefährliche Ausfallzustände

Zustand	Bewertung für	
	Modell 1	Modell 2
z_1	u	u
z_2	u	g
z_3	g	g
z_4	g	—

Tafel 5. Sicherheitsfaktor für die zeitlichen Grenzfälle

Grenzfall	Sicherheitsfaktor s für	
	Modell 1	Modell 2
$t = 0$	$\frac{\varepsilon + \eta}{1 + \eta}$	$\frac{\varepsilon}{1 + \eta}$
$t \to \infty$	$\frac{\varepsilon}{1 + \eta}$	$\frac{\varepsilon}{1 + \eta}$

für Modell 1 und

$$p_{g2}(t) = p_2(t) + p_3(t)\,, \qquad p_{u2}(t) = p_1(t) \tag{5}$$

für Modell 2.

Der Einfluß der Zuverlässigkeitskenngrößen der KF soll für die Wahrscheinlichkeiten $p_{g1}(t)$ und $p_{g2}(t)$ gezeigt werden.

3.2. *Einfluß der Zuverlässigkeit η der KF*

Besonders sensibel gegenüber Ausfällen der KF sind technische Prozesse, in denen neben der AF die KF als prozeßnotwendige Funktion integriert ist (Modell 2). Im Bild 2 ist für einen idealen Kontrollumfang ($\varepsilon = 1$) die Abhängigkeit p_{g2} ($a = \Lambda \cdot t$) mit dem Parameter η gezeigt.

3.3. *Einfluß des Kontrollumfangs ε*

Die Wahrscheinlichkeit für einen ungefährlichen Ausfall ist, unabhängig vom Modell, dem Kontrollumfang ε direkt proportional. Je nach Verantwortung, die der AF auferlegt wird, sind verschieden große Werte für den Kontrollumfang mit dem entsprechenden gerätetechnischen Aufwand zu realisieren. In jedem Fall ist, insbesondere für die Prozeßsicherung, der ideale Kontrollumfang $\varepsilon = 1$ anzustreben. Der Einfluß des Kontrollumfangs auf die Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle für $\eta = 0$ wird ebenfalls im Bild 2 dargestellt.

Tafel 4. Zustandswahrscheinlichkeiten

$p_i(t)$	Modell 1	Modell 2
$p_0(t)$	$\exp\left(-(1 + \eta)\, a\right)$	wie Modell 1
$p_1(t)$	$\frac{\varepsilon}{1 + \eta}\left(1 - \exp\left(-(1 + \eta)\, a\right)\right)$	wie Modell 1
$p_2(t)$	$\frac{\eta}{1 + \eta}\left(\exp\left(-\varkappa \cdot a\right) - \exp\left(-(1 + \eta)\, a\right)\right)$	$\frac{\eta}{1 + \eta}\left(1 - \exp\left(-(1 + \eta)\, a\right)\right)$
$p_3(t)$	$\frac{1 - \varepsilon}{1 + \eta}\left(1 - \exp\left(-(1 + \eta)\, a\right)\right)$	wie Modell 1
$p_4(t)$	$\frac{\eta}{1 + \eta}\left(1 + \frac{\varkappa \cdot \exp\left(-(1 + \eta)\, a\right) - (1 + \eta) \cdot \exp\left(-\varkappa \cdot a\right)}{1 + \eta - \varkappa}\right)$	0

z_0 — AF und KF sind gewährleistet
z_1 — bemerkter Ausfall der AF
z_2 — Ausfall der Kontrollfunktion
z_3 — unbemerkter Ausfall der AF infolge des begrenzten Kontrollumfangs
z_4 — unbemerkter Ausfall der AF, da die KF bereits ausgefallen ist.

Hinsichtlich möglicher Folgen erfahren die einzelnen Ausfallzustände eine qualitative Bewertung und werden entsprechend Tafel 3 in gefährliche (g) und ungefährliche (u) Zustände eingeteilt.

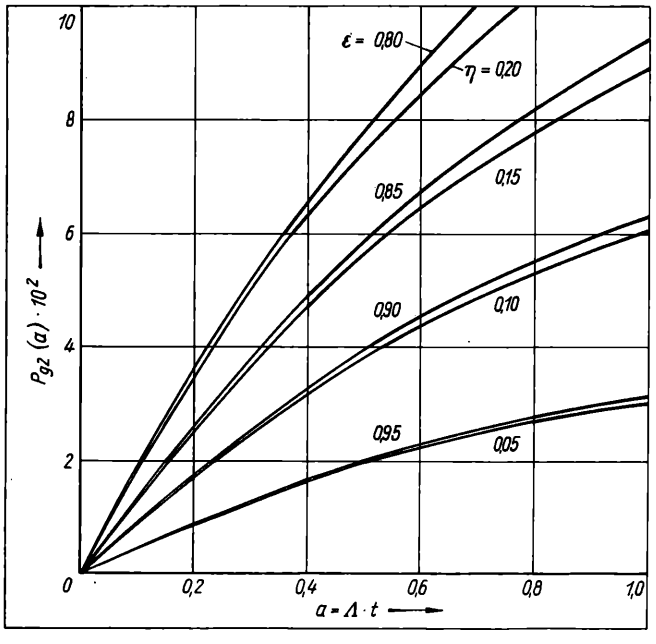
Offensichtlich stellt Modell 2 wesentlich höhere Anforderungen an die KF, da ihr Ausfall als sicherheitsgefährdend beurteilt wird. Häufig kommt die KF dem Operateur zu (Mensch-Maschine-Systeme). Ein Beispiel dafür sind regelungstechnische Prozesse mit der Möglichkeit der Handregelung [6]. Die Spezifik der Operateurzuverlässigkeit ist komplizierter Art (vgl. [7]) und offensichtlich nicht mit o. g. zeitinvarienten Kenngrößen der KF beschreibbar.

Zur quantitativen Beschreibung des Zuverlässigkeitsverhaltens wird das Markov-Modell herangezogen. Für die einzelnen Zustandswahrscheinlichkeiten erhält man die Ausdrücke nach Tafel 4 für beide Modelle ($p_0(0) = 1$, $a = \Lambda \cdot t$).

Entsprechend der Unterteilung in gefährliche und ungefährliche Ausfälle berechnen sich die Wahrscheinlichkeiten für ihr Eintreten mit

$$\left.\begin{aligned} p_{g1}(t) &= p_4(t) + p_3(t)\,, \\ p_{u1}(t) &= p_1(t) + p_2(t) \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

Bild 2. Einfluß der Zuverlässigkeit η der KF (für $\varepsilon = 1$) und des Kontrollumfangs ε (für $\eta = 0$) auf die Wahrscheinlichkeit gefährlicher Prozeßzustände (Modell 2)



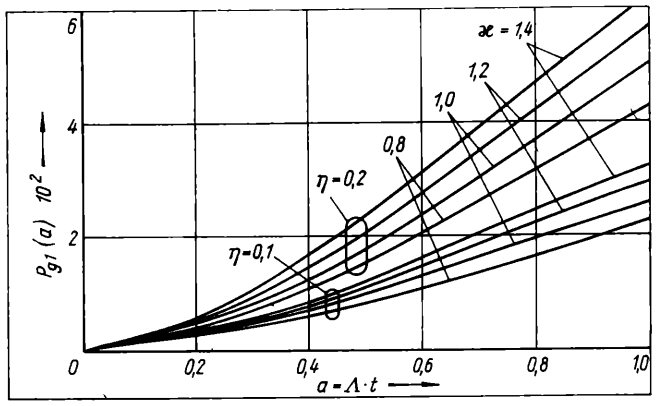


Bild 3. Einfluß des Kopplungsfaktors $\varkappa$ (für $\eta = 0,1; 0,2$) auf die Wahrscheinlichkeit gefährlicher Prozeßzustände (Modell 1)

3.4. Einfluß des Kopplungsfaktors $\varkappa$

Eine statistische Abhängigkeit zwischen Ausfällen der Kontrolleinrichtung und der AF ist nur dann von Interesse, wenn $\eta > 0$ und ein Ausfall der KF für den übergeordneten technischen Prozeß zulässig ist (Modell 1). Der Einfluß des Kopplungsfaktors ist im Bild 3 dargestellt. Praktisch wird man versuchen, die Kontroll- und Automatisierungseinrichtungen so zu entkoppeln, daß bei Ausfällen eine Einflußnahme ausgeschlossen wird bzw. schädliche Auswirkungen vermieden werden ($\varkappa \leqq 1$). In den meisten praktischen Fällen ($\eta < 0,1$; $|1 - \varkappa| < 0,1$) wird der Kopplungsfaktor vernachlässigbar sein.

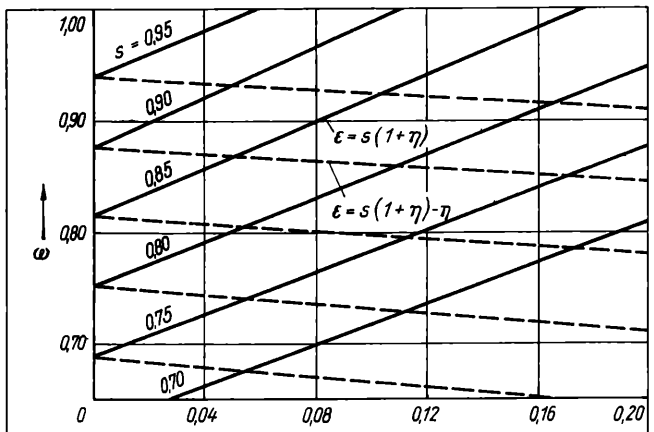
4. Sicherheitsfaktor für kontrollierte AF

Nimmt die KF Aufgaben innerhalb der Prozeßsicherung wahr, so werden an sie besonders hohe Anforderungen hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit ($\eta \to 0$) und des Kontrollumfangs ($\varepsilon \to 1$) gestellt. Zur zuverlässigkeitstheoretischen Beurteilung und Definition des Systems „ständig kontrollierte AF" erweist sich die Definition des Sicherheitsfaktors

$$s(t) = \frac{p_u(t)}{p_g(t) + p_u(t)} \tag{6}$$

als zweckmäßig, wobei die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten eines gefährlichen bzw. ungefährlichen Ausfalls nach Gl. (4) und Gl. (5) berechnet werden. Im Unterschied zu [8], wo ein Sicherheitsgrad über die mögliche Zahl der gefährlichen und ungefährlichen Ausfälle ermittelt wird, sind in Gl. (6) die Ausfälle mit ihren Wahrscheinlichkeiten gewichtet. Eine praktikablere Beziehung für den Sicherheitsfaktor erhält man nach Gl. (6) für die zeitlichen Grenzfälle entsprechend Tafel 5 (Seite 375).

Bild 4. Nomogramm zur Bestimmung des Kontrollumfangs ε in Abhängigkeit von der Zuverlässigkeit η der KF für einen vorgegebenen Sicherheitsfaktor s



Für Modell 1 stellt der Sicherheitsfaktor s ($t \to \infty$) eine pessimistische Beurteilung dar, für Modell 2 ist der Sicherheitsfaktor zeitinvariant.

Im Bild 4 wurde beispielhaft die Abhängigkeit des Kontrollumfangs ε von der Zuverlässigkeit η und dem Sicherheitsfaktor s als Parameter dargestellt. Unter Umständen kann für einen vorgegebenen Sicherheitsfaktor s die Unzuverlässigkeit der KF durch einen entsprechend hohen Kontrollumfang nicht kompensiert werden. In diesem Fall sind beispielsweise zusätzliche Inspektionen für die KF durchzuführen, was zu verfeinerten Zuverlässigkeitsmodellen führt [9]. Ebenso führt eine tiefergehende Analyse von Kontrolleinrichtungen mit prozeßsichernder Funktion zur Unterscheidung von Fehlern 1. und 2. Art der KF mit der Beschreibung durch entsprechende Modellansätze [10].

Zusammenfassung

Die effektive Nutzung von Automatisierungsanlagen erfordert die zuverlässige Kontrolle der Automatisierungsfunktionen. Hierbei lassen moderne Automatisierungskonzepte qualitativ neue Anforderungen erkennen, denen mit der sie begründenden neuartigen Gerätetechnik begegnet werden muß und kann [11]. Als für die Beschreibung des Zuverlässigkeitsverhaltens kontrollierter Automatisierungsfunktionen geeignete Kenngrößen werden die Zuverlässigkeit der Kontrollfunktion, der Kontrollumfang und der Kopplungsfaktor definiert und berechnet und ihr Einfluß aufgezeigt. Ohne auf die große Vielfalt und die teilweise komplizierten Strukturen derartiger Systeme näher einzugehen, gestattet die Kenntnis dieser Kenngrößen erste Schlußfolgerungen für die zuverlässigkeitsgerechte Dimensionierung von Kontrollfunktionen. Für Kontrolleinrichtungen, die Aufgaben der Prozeßsicherung wahrnehmen, können diese Kenngrößen zur Berechnung des Sicherheitsfaktors herangezogen werden.

Die konkrete Festlegung der Zuverlässigkeitskennwerte muß über pragmatische Überlegungen erfolgen, da die Automatisierungsfunktion und ihre Kontrolle stets einen sozialökonomischen Bezug haben [12]. Der Zugang zu dieser Problematik erfolgt in der Regel über Effektivitätsbetrachtungen (vgl. z. B. [13] für die Prozeßsicherung).

Literatur

[1] *Töpfer, H.:* Den Fortschritt aktiv mitgestalten. Technische Gemeinschaft 28 (1980) 1, S. 5 und 6.

[2] *Marx, K.:* Das Kapital, 1. Bd., In: *K. Marx/F. Engels*, Werke. Bd. 23, S. 394.

[3] *Fischer, K.:* Einsatz der Mikrorechentechnik zum Rationalisieren der Instandhaltung. Fernmeldetechnik 20 (1980) H. 6, S. 204–206.

[4] *Beuschel, J.:* Zuverlässigkeit redundanter Systeme mit Parallelstruktur unter Berücksichtigung der realen Möglichkeiten des Schalters. msr 18 (1975) H. 4, S. 123–127.

[5] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Automatisierungssysteme mit Mikroprozeßrechnern – Konsequenzen für Theorie und Instrumentierung. msr 21 (1978) H. 7, S. 362–367.

[6] *Beuschel, J.:* Zuverlässigkeit regelungstechnischer Prozesse. Impuls 21 (1981) H. 4, S. 147–156.

[7] *Bergmann, J.:* Probleme der manuellen Regelung als Bestandteil der Kommunikation zwischen Mensch und automatisierter Anlage. Wiss. Zeitschr. der TH Leipzig 4 (1980) H. 4, S. 209–214.

[8] *Schäfer, E.:* Sicherheitsschaltungen in der Elektronik. Qualität und Zuverlässigkeit 24 (1979) H. 11, S. 289–295.

[9] *Fischer, K.; Kleinau, K.-H.:* Nebenstellanlagen mit Mikroprozessoren – ihre Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Nachrichtentechnik Elektronik 30 (1980) H. 2, S. 62–65.

[10] *Balzer, D.; Richter, W.:* Möglichkeiten und Aufgaben der Prozeßmeß- und Prozeßrechentechnik bei der Prozeßsicherung. msr 23 (1980) H. 8, S. 428 bis 431.

[11] *Fuchs, H.; Bahrs, U.:* Bemerkungen zur Entwicklung der Automatisierungstechnik. msr 25 (1981) H. 1, S. 2–7.

[12] *Beuschel, J.; Fischer, K.; Banse, G.:* Zuverlässigkeitstheorie – eine technikwissenschaftliche Betrachtung. msr 24 (1981) H. 6, S. 312–316.

[13] *Wolik, B. G.*, u. a.: Effektivitätsanalyse von ASU TP mit den Untersystemen des Havarieschutzes (in Russ.). Sistemi i pribori upravlenija (1980) No. 1, str. 6–9.

msr 7549

Prof. Dr. sc. techn. *K. Fischer* und Dr.-Ing. *G. Hertel*, Dresden[1])

Zuverlässigkeitstheorie und leistungsorientierte Systeme

0. Einleitung

Die sozialistische Rationalisierung verlangt in immer stärkerem Maß die Aufdeckung und Erschließung von Reserven in allen Bereichen der Volkswirtschaft. Eng verbunden mit der intensiveren Nutzung technischer Systeme sind Forderungen an ihre Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit. Dabei ist der Einfluß des Ausfall- und Instandhaltungsgeschehens auf die Leistungsfähigkeit der technischen Systeme zu quantifizieren.

1. Problemstellung

Für die Berechnung der Zuverlässigkeit technischer Systeme existiert ein relativ gut ausgebauter mathematischer Apparat. Eine dominierende Rolle spielen das Boolesche und das Markovsche Zuverlässigkeitsmodell. Aber auch das Semi-Markovsche Zuverlässigkeitsmodell, numerische Lösungen mit Hilfe der EDV sowie die in letzter Zeit entwickelten Simulationsmodelle haben Anwendung gefunden und gewinnen weiter an Bedeutung [3] [5] und [7].
Die bekannten Zuverlässigkeitsbetrachtungen konzentrieren sich schwerpunktmäßig auf folgende Systemstrukturen im Sinne der Zuverlässigkeitstheorie [1] [12] und [13]:

- Seriensysteme
- Parallelsysteme
- m-aus-n-Systeme
- Brückensysteme.

Bei allen Systemen ist für den Systemzustand „funktionsfähig" maßgebend, ob eine funktionsfähige Verbindung zwischen Systemeingang und Systemausgang existiert, andernfalls ist der Systemzustand „ausgefallen" angegeben.
Diese Betrachtungsweise ist richtig, wenn eine Information übertragen werden soll.
Typische Anwendungsfälle dafür sind Sicherheitssysteme in der Eisenbahnsicherungstechnik [3], in Kernkraftwerken, in der Weltraumfahrt, aber auch Systeme der Nachrichtenübertragung [4] sowie eine Vielzahl von Systemen in Industrie (z. B. EDV) und Haushalt (z. B. Fernsehgeräte). Es handelt sich hierbei generell um solche Systeme, bei denen dem Nutzer kein Vorteil (außer eben der Zuverlässigkeit) durch das Vorhandensein mehrerer Systeme entsteht.
Systeme dieser Art sollen unter dem Begriff informationsorientierte Systeme bzw. Informationssysteme zusammengefaßt werden.
In Verbindung mit der sozialistischen Rationalisierung rücken aber gerade Systeme in den Mittelpunkt der Betrachtung, die sich nicht als Informationssysteme einordnen lassen. Es handelt sich vielmehr um Systeme, die eine bestimmte Produktionsleistung zu vollbringen haben. Je nach Umfang der geforderten Leistung kann es sich um ein- oder mehrkanalige Systeme handeln. Bedeutsam für die Volkswirtschaft und damit auch für theoretische Betrachtungen ist es, ob und in welchem Maß die Leistungsfähigkeit des Systems durch seine Zuverlässigkeit beeinflußt wird. Dabei genügt es in der Regel offensichtlich nicht, nur die Systemzustände funktionsfähig oder ausgefallen zu betrachten, sondern vielfach spielen gerade Systemzustände eine Rolle, die eine verminderte Leistung bzw. eine verringerte Qualität zur Folge haben. Systeme dieser Art sollen unter dem Begriff leistungsorientierte Systeme bzw. Bedienungssysteme zusammengefaßt werden.

[1]) Mitteilung aus der HfV „Friedrich List", Dresden.

Im Gegensatz zu den umfassenden Zuverlässigkeitsbetrachtungen bezüglich der Informationssysteme sind derartige Untersuchungen für Bedienungssysteme kaum bekannt geworden [2] [9] und [14].
Damit ist die Motivation gegeben, sich diesen Fragen zuzuwenden, grundlegende Gedanken als Diskussionsbasis zu äußern und erste Ergebnisse zur Zuverlässigkeitsbetrachtung von Bedienungssystemen vorzulegen.

2. Allgemeine Betrachtung

Die bisherigen Erfahrungen lassen einige allgemeine Betrachtungen sinnvoll erscheinen.
Für Informationssysteme sind Aussagen zu den Zuverlässigkeitskenngrößen, z. B. Wahrscheinlichkeit für ausfallfreie Arbeit bzw. Verfügbarkeit, sinnvoll und praktisch verwertbar. Typisch für das Transport- und Nachrichtenwesen ist, daß diese Systeme in der Regel eng mit Sicherheitsaufgaben verbunden sind. Die Zuverlässigkeit mit einer ökonomischen Kategorie in Verbindung zu bringen, gelingt dabei meist nur schwer oder gar nicht. Für Bedienungssysteme ist dagegen die Beantwortung der Frage, in welchem Maß die Zuverlässigkeit Einfluß auf die Leistungsfähigkeit des Systems ausübt, von Bedeutung, während die nach dem Totalausfall des Systems nicht typisch ist.
Daraus ist ableitbar, daß Zuverlässigkeitsbetrachtungen für Informations- und Bedienungssysteme einen unterschiedlichen Charakter annehmen. Die sich daraus ergebenden Konsequenzen, insbesondere für das Transport- und Nachrichtenwesen, sind noch nicht voll überschaubar. Auch die durchaus zu den Maschinen- und Anlagensystemen bestehenden Analogien erscheinen zum heutigen Zeitpunkt noch nicht voll nutzbar [8].
Die Zuverlässigkeitsbetrachtung von Bediensystemen wird unter der Zielstellung durchgeführt, die Zuverlässigkeit als unabhängige Variable zu verwenden und damit ihren Einfluß auf die Leistungsfähigkeit des Bedienungssystems darstellen zu können.
Da eine Begrenzung der Betrachtung auf Systeme mit Erneuerung erfolgt, werden Zustandswahrscheinlichkeiten als Kriterium genutzt.
Diese Zielstellung beinhaltet, die Veränderungen der Zuverlässigkeitskennwerte unmittelbar anhand ökonomischer Parameter sichtbar zu machen.

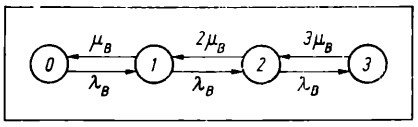
3. Leistungsfähigkeit des Systems in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit

3.1. Allgemeines

Eine entscheidende Aussage für die Praxis ist, wieviel Mengeneinheiten je Zeiteinheit verarbeitet werden können und in welchem Maß sich das Ausfall- und Instandhaltungsgeschehen auf die zu erbringende Leistung auswirken.
Für das Ausfallgeschehen wird die konstante Ausfallrate λ_Z und für das Instandhaltungsgeschehen die konstante Instandsetzungsrate μ_Z verwendet. Daraus wird analog dem Verkehrswert ϱ_B (Ankunftsrate λ_B/Bedienrate μ_B) das Verhältnis ϱ_Z gebildet. Dieses soll in dem Bereich von maximal 10^{-4} bis 10 betrachtet werden.

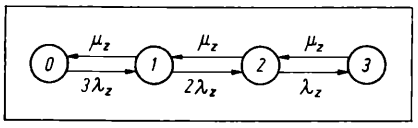
3.2. Mathematische Lösung

Bild 1 zeigt den Zustandsgraph für das als Beispiel ausgewählte 3kanalige Verlustsystem. Die Zustandswahrscheinlichkeiten P_i bedeuten:



λ_B Forderungenstrom (des Bedienungssystems); μ_B Bedienrate

Bild 1. Zustandsgraph eines dreikanaligen Verlustsystems (als Bedienungsmodell)



λ_Z Ausfallrate; μ_Z Instandsetzungsrate

Bild 2. Zustandsgraph eines dreikanaligen Verlustsystems (als Zuverlässigkeitsmodell) — 1 Entstörer

Tafel 1. Mittlere Anzahl der arbeitenden Bedienungskanäle L_b in Abhängigkeit vom Verkehrswert ϱ_B

	Verkehrswert ϱ_B					vorhandene Kanäle s
	1	2	2,5	3	5	
L_b	0,938	1,579	1,79	1,962	2,433	3
	0,8	1,2	1,32	1,41	1,62	2
	0,5	0,668	0,714	0,75	0,833	1

Tafel 2. Verarbeitete stündliche Mengeneinheiten eines s-kanaligen Systems in Abhängigkeit vom Verkehrswert ϱ_B (μ_B = 20 ME/h)

	Verkehrswert ϱ_B					vorhandene Kanäle s
	1	2	2,5	3	5	
ME/h	18,76	31,58	35,8	39,24	46,86	3
	16	24	26,4	28,2	32,4	2
	10	13,36	14,28	15	16,60	1

P_0 keine Forderung im System, alle Bedienungskanäle leer
P_1 ein Bedienungskanal arbeitet
P_2 zwei Bedienungskanäle arbeiten
P_3 drei Bedienungskanäle arbeiten bzw. Wahrscheinlichkeit dafür, daß keine weiteren Forderungen in das System aufgenommen werden können.

Zur Berechnung der geleisteten Mengeneinheiten je Stunde (ME/h) ist es notwendig, die mittlere Anzahl der arbeitenden Bedienungskanäle L_b oder die mittlere Auslastung eines Bedienungskanals η_b zu ermitteln. Dies ist mit Gl. (1) und Gl. (2) möglich.

$$L_b = (1 - P_s)\,\varrho_B\,, \tag{1}$$

$$\eta_b = (1 - P_s)\,\varrho_B/s\,. \tag{2}$$

In Tafel 1 sind für verschiedene ϱ_B sowie für das ein-, zwei- und dreikanalige System die mittleren Anzahlen der arbeitenden Bedienungskanäle angegeben.
Die verarbeitete Menge je Zeiteinheit kann gemäß Gl. (3) bestimmt werden

$$L_b \cdot \mu_B = (1 - P_s)\,\lambda_B\,. \tag{3}$$

Unter der Annahme μ_B = 20 ME/h ergeben sich die in Tafel 2 angegebenen Werte.
Das s-kanalige Bedienungssystem kann die angegebene Mengeneinheit nur leisten, wenn alle s Bedienungskanäle funktionsfähig sind. Aus diesem Grund ist es notwendig, Zustandswahrscheinlichkeiten Z_j (j-Kanäle sind ausgefallen) zu bestimmen.
Der Einfachheit und Übersichtlichkeit halber soll angenommen werden, daß die Ausfallrate λ_Z der Bedienungskanäle zeit- und nicht belastungsabhängig sei [14]. Des weiteren wird davon ausgegangen, daß eine Instandhaltungskraft zur Verfügung steht. Folgende Systemzustände können eintreten (Bild 2):

Z_0 alle Kanäle funktionsfähig
Z_j j Kanäle sind ausgefallen, demzufolge sind $s - j$ Kanäle funktionsfähig ($j \leqq s$; $j \neq 0$).

Die Berechnung von Z_j erfolgt über das System von Differentialgleichungen

$$Z_j'(t) = AZ_j(t)\,. \tag{4}$$

Wenn nur die stationären Zustände interessieren, gilt

$$\lim_{t\to\infty} Z_j'(t) = 0\,.$$

Als Ergebnis für das stationäre Regime erhält man im gewählten Beispiel (Bild 2)

$$\left.\begin{aligned} Z_0 &= 1/(6\varrho_Z^3 + 6\varrho_Z^2 + 3\varrho_Z + 1)\,,\\ Z_1 &= 3\varrho_Z Z_0\,,\\ Z_2 &= 6\varrho_Z^2 Z_0\,,\\ Z_3 &= 6\varrho_Z^3 Z_0\,. \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

Mit den Zustandswahrscheinlichkeiten Z_j kann jetzt angegeben werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein ($s - j$)-kanaliges Bedienungssystem zur Verfügung steht (j = 0, ... , s). Die Leistung des Bedienungssystems L_{sy} kann formuliert werden als

$$L_{sy} = L_{s3}\cdot Z_0 + L_{s2}\cdot Z_1 + L_{s1}\cdot Z_2 + L_{s0}\cdot Z_3\,,$$

$$\text{mit}\quad L_{s0} = 0\,, \tag{6}$$

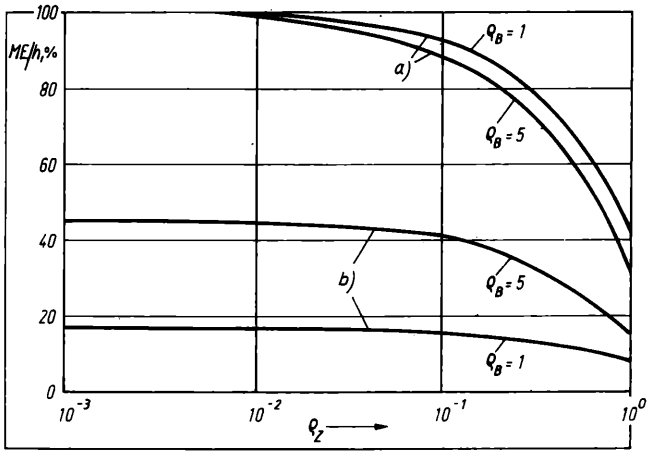
$$L_{sy} = \sum_{j=0}^{s} L_{sj}\cdot Z_{s-j}\,. \tag{7}$$

Die Zustandswahrscheinlichkeiten Z_j für verschiedene ϱ_Z sind nach Gl. (5) in Tafel 3 angegeben.
Gemäß Beziehung (7) erhält man die in Tafel 4 zusammengestellten stündlichen Leistungen des Systems in Abhängigkeit vom Ausfall- und Instandhaltungsgeschehen.
Aus Tafel 4 und Bild 3 ist der Zusammenhang zwischen der Leistung und der Zuverlässigkeit des Systems unter Berücksichtigung der Instandhaltungszeit zu erkennen.
Damit ist eine Lösung des Problems gegeben, und man kann aus den Systemforderungen Vorgaben an die Instandhaltung ableiten, wenn die Ausfallraten festliegen. Der sich ergebende Trend der Leistungsverringerung mit wachsendem ϱ_Z ist bei

Tafel 3. Zustandswahrscheinlichkeiten für ein 3kanaliges System mit 1 Instandhalter in Abhängigkeit von ϱ_Z (Zuverlässigkeitsmodell)

Zustandswahrscheinlichkeit	ϱ_Z			
	1	0,1	10^{-2}	10^{-3}
Z_0	0,0625	0,732	0,97	0,997
Z_1	0,1875	0,2196	0,029	0,003
Z_2	0,375	0,0439	$5\cdot10^{-4}$	
Z_3	0,375	0,0044		

Bild 3. Leistung eines dreikanaligen Bedienungssystems in Abhängigkeit von ϱ_Z (ϱ_Z charakterisiert das Ausfall- und Instandhaltungsgeschehen)
a) in %; b) in ME/h



Tafel 4. Stündliche Leistung eines 3kanaligen Bedienungssystems in Abhängigkeit von ϱ_B und ϱ_Z

ϱ_B								
ϱ_Z	5		3		2,5		1	
	absolut	%	absolut	%	absolut	%	absolut	%
1	15	32,0	13,37	34,07	12,54	35,0	7,92	42,2
10^{-1}	42,14	89,9	35,57	90,65	32,63	91,1	17,68	94,3
10^{-2}	46,41	99,0	38,88	99,1	35,5	99,2	18,67	99,5
10^{-3}	46,82	99,9	39,2	99,9	35,77	99,9	18,75	99,9
0	46,86	100	39,24	100	35,8	100	18,76	100

allen ϱ_B gleich. Der Einfluß des Störungswertes ϱ_Z auf die Verringerung der Leistungsfähigkeit ist quasi unabhängig von der Verkehrsbelastung ϱ_B.

Allgemein kann man feststellen: Wird nur eine um 1% verringerte Leistung zugelassen, muß ein ϱ_Z von etwa 10^{-2} gefordert werden. Das bedeutet, bei einer Ausfallrate von $10^{-4}\ h^{-1}$ muß eine Störung spätestens nach 100 h beseitigt sein.

4. Diskussion der Ergebnisse

Durch die Entwicklung von Beziehung (7) steht eine Lösung zur Verfügung, mit deren Hilfe der Einfluß der Zuverlässigkeit auf die Leistungsfähigkeit der Bediensysteme ermittelt werden kann. Diese Lösung ist sowohl für Verlust- als auch Wartesysteme anwendbar.

Allerdings muß erkannt werden, daß mit der vorgestellten Lösung zwei Probleme noch nicht erfaßt werden können:

— Es liegen Aussagen zur durchschnittlichen, aber keine zur momentanen Leistungsfähigkeit vor.
— Es wurde nicht untersucht, welchen Einfluß die Zuverlässigkeit auf den Eingang des Bedienungssystems ausübt.

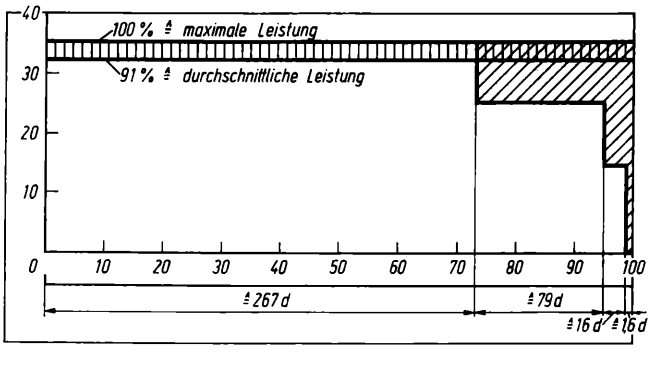
4.1. Nutzer-Betreiber-Standpunkt

Der Einfluß der Zuverlässigkeit hat vom Standpunkt des Betreibers öfter eine andere Bedeutung als vom Standpunkt des Nutzers. Die Verfügbarkeit einer durchschnittlichen Leistung über einen längeren Zeitraum entspricht meist den Interessen des Betreibers. Die von ihm zu produzierenden oder zu bearbeitenden Mengeneinheiten geben ihm über den gesamten Planungszeitraum hinweg die Möglichkeit, Mehr- und Minderleistungen gegenseitig auszugleichen. Aus der Sicht des Nutzers (z. B. Abnehmer der Produkte) ist dagegen oftmals die momentane Verfügbarkeit der Leistung (momentane Leistungsfähigkeit) von größerem Interesse. Er möchte möglichst eine konstant hohe Leistung angeboten erhalten.

In der chemischen Industrie spricht man auch von einem System mit geforderter Jahresproduktion bzw. einem System mit gegebener Leistung [6].

Bild 4. Schematische Darstellung des durchschnittlichen und des momentanen Verlustes

||| durchschnittlicher Verlust; /// momentaner Verlust



Die Unterschiede zwischen beiden Betrachtungsweisen verdeutlicht Bild 4.

Unter der Annahme eines 3kanaligen Systems mit $\varrho_B = 2{,}5$ und $\varrho_Z = 0{,}1$ sowie einem Betrachtungszeitraum von einem Jahr kann man erkennen, an wieviel Tagen verminderte bzw. keine Leistungen abgefordert werden können. Aus dem Bild 4 ist immerhin erkennbar, daß an etwa 16 Tagen die Leistung geringer als 40% ist und während 1,6 Tagen gar 0. Daraus muß die Schlußfolgerung abgeleitet werden, daß die durchschnittliche Leistungsfähigkeit ein erstes wichtiges Entscheidungskriterium ist. Ergänzend muß die momentane Leistungsfähigkeit hinsichtlich der volkswirtschaftlichen Vertretbarkeit bzw. der Zumutbarkeit geprüft werden, es ergeben sich dadurch schärfere Forderungen an die Instandhaltung.

4.2. Verhältnisse am Systemeingang

Betrachtet seien noch die Konsequenzen der Zuverlässigkeit hinsichtlich der Verhältnisse am Eingang des Bedienungssystems. Hier macht es sich notwendig, zwischen Verlust- und Wartesystemen zu unterscheiden. Gemischte Systeme haben eine Zwitterstellung. Wenden wir uns zuerst den Verlustsystemen zu. Der entscheidende Bemessungsparameter ist hier die Verlustwahrscheinlichkeit. Diese kann nach den bekannten mathematischen Verfahren berechnet werden. Der Ausfall eines oder mehrerer Kanäle läßt die Verlustwahrscheinlichkeit (als momentanen Wert) sprunghaft ansteigen, was z. B. bezüglich des Fernsprechwesens zu Kommunikationsproblemen, Verärgerungen usw. führt. Bild 5 zeigt den durchschnittlichen Verlust bei $\varrho_Z = 0$ (ideales System) und bei $\varrho_Z = 0{,}1$. Dadurch, daß die Forderungen abgewiesen werden können, entstehen sowohl Probleme für den Nutzer (Zeit- und Kommunikationsverluste) als auch für den Betreiber (z. B. Anrufwiederholungen im Fernsprechnetz).

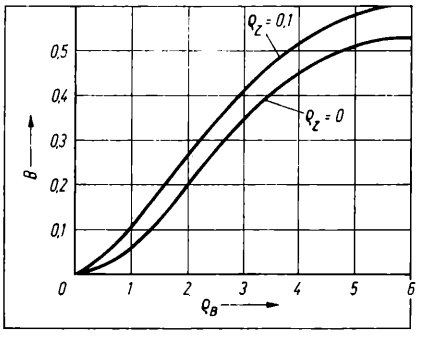


Bild 5. Verlustwahrscheinlichkeit B in Abhängigkeit vom Verkehrswert ϱ_B mit Störungswert ϱ_Z als Parameter

Leistungsbeeinflussend sind die mittelbaren Wirkungen des Ansteigens der Verlustwahrscheinlichkeit aufgrund des Zuverlässigkeitsverhaltens des Systems. Dieser Problematik wird das vorgestellte mathematische Verfahren nicht gerecht. Am Beispiel der Anrufwiederholungen in Nachrichtennetzen wurde mit der Untersuchung dieser Abhängigkeiten begonnen. Es scheint, daß zwei Wege möglich sind:

— Bewertung der Gesamtkosten in absoluten Werten
— Bewertung der Verhältnisse am Eingang und Ausgang des Bedienungssystems durch Kostenrelation.

Die Bewertung der Gesamtkosten aus der Sicht des Betreibers hat Investitions-, Wartungs- und Instandhaltungs- sowie Betriebskosten anzusetzen, während aus der Sicht des Nutzers ein weiterer Summand in Gestalt der Nichtverfügbarkeits- oder Schadenskosten hinzukommt [6].

Die Bewertung der Relativkosten Input/Output könnte in dem Sinne erfolgen, daß ein Kostenverhältnis zwischen abgewiesenen Forderungen (Verlustwahrscheinlichkeit) und nicht produzierten (nicht bearbeiteten) Mengeneinheiten (Leerwahrscheinlichkeit) als Parameter zur Dimensionierung des Systems und der

Forderungen an die Instandhaltung dient – ähnlich dem in [10] vorgestellten Kostenverhältnis $\varkappa$ für Wartesysteme.

Wenden wir uns den Wartesystemen zu. Während die Verlustwahrscheinlichkeit in Erlangschen Systemen näherungsweise sprunghaft bei Ausfall von Kanälen ansteigt, wächst die Warteschlange in Wartesystemen in Abhängigkeit von der Verkehrsdichte mehr oder weniger schnell bei Ausfall von Serviceeinrichtungen an. Die Bedingung für ein unkritisches System mit einem Auslastungsgrad $\eta_b < 1$ ist nach Ausfall von Kanälen im allgemeinen nicht mehr erfüllt, so daß ohne ihre rechtzeitige Instandsetzung die Warteschlange über alle Grenzen wachsen würde. Daraus leitet sich die Forderung an die Instandsetzung ab, einen Servicekanal nach Ausfall innerhalb $t < T$ Zeiteinheiten zu reparieren.

Die mathematische Durchdringung der Verhältnisse ist insofern kompliziert, weil das Wachsen und Abbauen der Schlangenlänge nicht mehr ohne weiteres mit stationären Zustandswahrscheinlichkeiten beschrieben werden kann.

Erste Ergebnisse der Untersuchung eines 1kanaligen $M/M1$-Warte- und Warte-Verlust-Systems sollen in einem späteren Beitrag vorgestellt werden.

Zusammenfassung

Die Zuverlässigkeitsbetrachtungen konzentrieren sich schwerpunktmäßig auf Informationssysteme. Abgeleitet von der volkswirtschaftlichen Notwendigkeit wird ein Lösungskonzept für Bedienungssysteme entwickelt.

Die Zuverlässigkeitsbetrachtungen von leistungsorientierten Systemen, speziell mit parallelen Kanälen, erfordern die Verwendung eines Mehrzustandsmodells. Die entscheidende Ursache ist darin zu sehen, daß nicht die Fragestellung „System ist funktionsfähig oder ausgefallen" typisch ist, sondern die nach der Leistungsfähigkeit des Systems. Damit die Veränderung der auch ökonomisch bewertbaren Leistungsparameter infolge unterschiedlicher Verfügbarkeiten sichtbar gemacht werden kann, wurde die Zuverlässigkeit als unabhängige Variable verwendet.

Literatur

[1] *Barlow, R. E.; Proschan, F.:* Statistische Theorie der Zuverlässigkeit. Berlin: Akademie-Verlag 1978.

[2] *Bär, M.; Beichelt, F.; Fischer, K.:* Theorie der Verlustsysteme mit störanfälligen Bedienungskanälen. WZ der HfV, Sonderbeilage, „Einsatz der Mikrorechentechnik zur Rationalisierung der Instandhaltung 1980", S. 46–59.

[3] *Beichelt, F.; Fischer, K.:* Das Semi-Markowsche Zuverlässigkeitsmodell in der Eisenbahnsicherungstechnik. Die Eisenbahntechnik 27 (1979) H. 5, S. 183–185.

[4] *Fischer, K.; Tuppy, W.:* Nachrichtenverkehrsprozesse aus theoretischer Sicht. Fernmeldetechnik 20 (1980) H. 1, S. 24–27.

[5] *Gaede, K.-W.:* Zuverlässigkeit Mathematischer Modelle. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1977.

[6] *Gruhn, G.; Kafarov, V. V.; Mesalkin, V. D.; Neumann, W.:* Zuverlässigkeit von Chemieanlagen. Leipzig: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1979

[7] *Höfle-Isphording, U.:* Zuverlässigkeitsrechnung. Einführung in ihre Methoden. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1978.

[8] *Kardos, H.; Lorenz, K.:* Zuverlässigkeit als Bestandteil der Strukturierung von Maschinen- und Anlagensystemen. Maschinenbautechnik 30 (1981) H. 8, S. 343–346.

[9] *Kistner, Kl.-P.:* Betriebsstörung und Warteschlangen, Opladen: Westdeutscher Verlag GmbH 1979.

[10] *Krampe, H.; Kubat, J.; Runge, W.:* Bedienungsmodelle. Ein Leitfaden für die praktische Anwendung. Berlin: Verlag Die Wirtschaft 1974.

[11] *Koslov, B. A.; Uschakov, I. A.:* Handbuch zur Berechnung der Zuverlässigkeit in Elektronik und Automatentechnik. Berlin: Akademie-Verlag 1978.

[12] *Preuß, H.:* Zuverlässigkeit elektronischer Einrichtungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1976.

[13] *Reinschke, K.:* Zuverlässigkeit von Systemen. Bd. 1. Berlin: VEB Verlag Technik 1973.

[14] *Fischer, K.; Tuppy, W.; Bär, M.:* Nachrichtenverkehrstheorie unter Berücksichtigung störanfälliger Bedienungskanäle. ntz Archiv 3 (1981) H. 10, S. 277–283.

msr 7571

Dr.-Ing. *W. Jehmlich*, Karl-Marx-Stadt[1])

Eingabe-Schnittstellen zur Prozeßdatenerfassung mit dem Mikrorechner K 1520

IA 4.0.5.

0. Einleitung

Durch den Einsatz von Mikrorechnern in der Prozeßdatenerfassung verstärkt sich der Trend zur dezentralisierten Meßdatenerfassung, d. h., die Meßdatenerfassung und die Meßdatenverarbeitung im Sinne einer Datenreduktion werden unmittelbar im prozeßnahen Bereich ausgeführt. Dabei ist mit einer begrenzten Anzahl von Meßstellen und mit kurzen bis mittleren Entfernungen für die Übertragungsstrecke zwischen den einzelnen Meßstellen der Prozeßperipherie und dem Mikrorechner auszugehen. Es handelt sich hierbei um kleine, überschaubare Meßwerterfassungseinrichtungen, bei denen ein Mikrorechner (CPU und Arbeitsspeicher) das Kernstück bildet. Neben den Eingabe- und Ausgabe-Schnittstellen, der Prozeßperipherie mit Sensoren und Aktoren, der Benutzerperipherie (Tastatur, Bildschirm, Drucker usw.) zur Kommunikation zwischen der Bedienperson und dem mikrorechnergesteuerten Prozeß und der Speicherperipherie zur Speicherung der vorverdichteten Meßdaten hat die Software entscheidenden Einfluß auf die Leistungsfähigkeit der Meßwerterfassungseinrichtung. Für die Anzahl der im On-line-Betrieb mit einem Mikrorechner erfaßbaren Meßstellen sind die geforderte Abfragegeschwindigkeit für die einzelnen Meßstellen, die Arbeitsgeschwindigkeit des Mikrorechners, die Organisationsform der Datenerfassung, der Umfang der Arithmetikprogramme zur Datenreduktion des Initialisierungsprogrammes und der Steuerprogramme zur Bedienerführung sowie für den Dialogverkehr und die verfügbare Speicherplatzkapazität ausschlaggebend.

Bei der Kopplung des Mikrorechners mit externen Prozessen ist es erforderlich, den Transfer von Daten-, Adreß- und Steuersignalen zwischen dem Mikrorechner und der Prozeßperipherie über eine entsprechende Eingabe- und Ausgabe-Schnittstelle abzuwickeln.

Da es bis heute kaum standardisierte Schnittstellen für mikrorechnergestützte Meßwerterfassungseinrichtungen gibt, beschäftigt sich dieser Beitrag schwerpunktmäßig mit der praktischen Realisierung einer speziellen, der konkreten Aufgabenstellung angepaßten Eingabe-Schnittstelle zwischen der Prozeßperipherie und dem Mikrorechner K 1520.

Der Datenaustausch zwischen dem Mikrorechner und der Prozeßperipherie erfordert neben der Ein- und Ausgabe digitaler Signale vor allem die Analogwertein- und -ausgabe (z. B. Meßwerte, Stellsignale usw.).

Aufgabe einer Schnittstelle zwischen dem Mikrorechner und der Prozeßperipherie ist es, bei der Zusammenschaltung dieser beiden Systeme die informationelle (logische), energetische und konstruktive gegenseitige Anpassung zu gewährleisten. Entsprechende Vorschriften, in denen die konkreten Bedingungen

[1]) Mitteilung aus der TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Informationstechnik.

für die Zusammenschaltung von Prozeßperipherie und Mikrorechner festgelegt werden, bezeichnet man als „Interfacebedingungen". Bezüglich der informationellen Kopplung werden hierfür Datensignale, Steuersignale, Adressensignale, Programmsignale und Sondersignale vereinbart. Im Rahmen der konstruktiven Kopplung werden Vereinbarungen über Gefäßsystem, Kabel, Steckeinheiten usw. getroffen. Für die energetische Kopplung werden Betriebsspannungen, zulässige Belastungsströme, Impedanzen der Ein- und Ausgänge usw. vereinbart.
Aus den Interfacebedingungen werden entsprechende Hardware-Lösungen für die Schnittstelle abgeleitet.
Der schaltungstechnische Aufwand für eine derartige Schnittstelle wird dabei bestimmt durch:

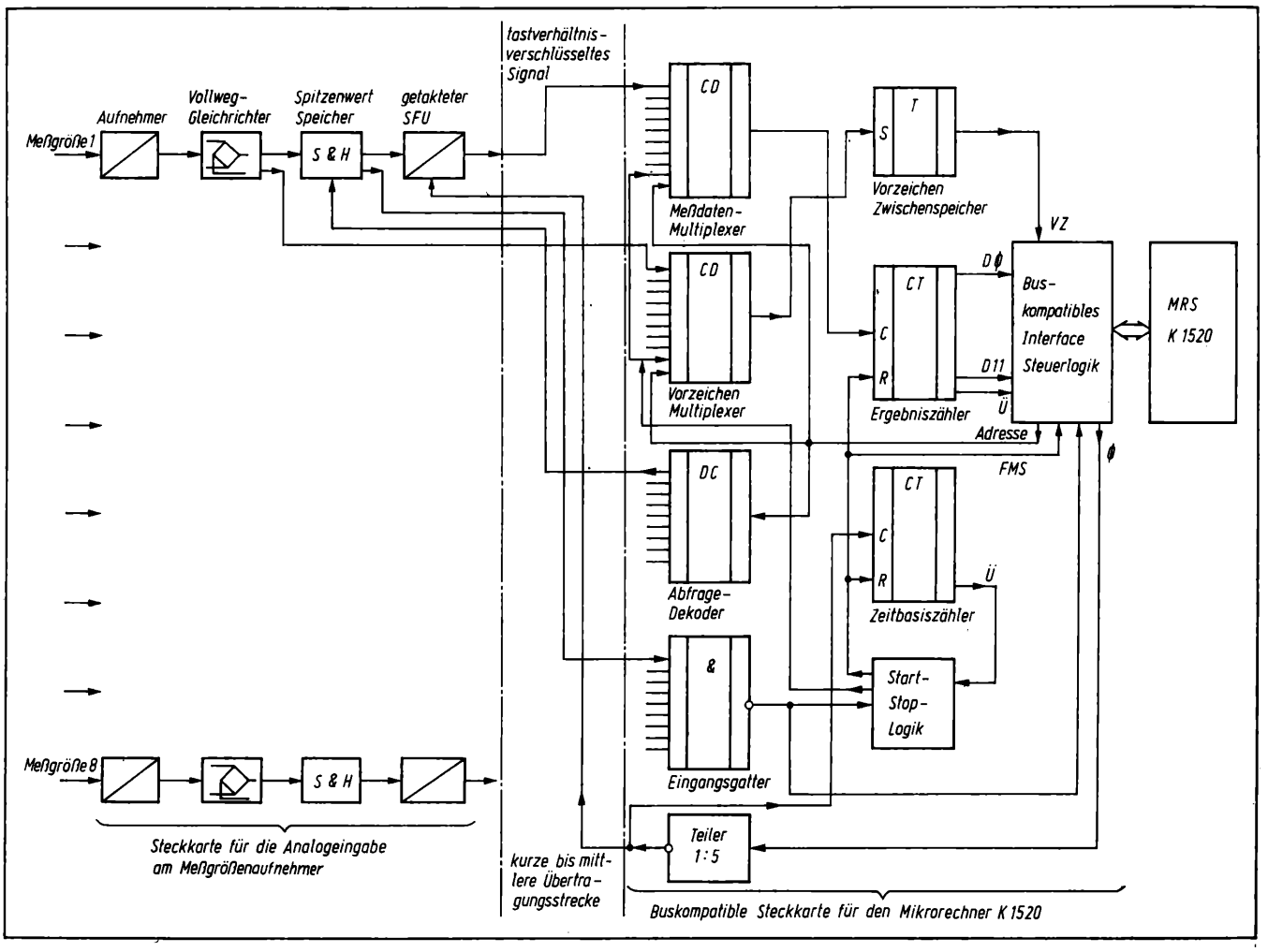
- die Anforderungen an die Kommunikation zwischen dem Mikrorechner und dem Prozeß
- die programmtechnische Realisierung der Ein- und Ausgabe zwischen dem Mikrorechner und der Prozeßperipherie
  - . programmierte Ein- und Ausgabe der Daten (Warteschleife)
  - . Datenverkehr über Interrupt-Steuerung
- den Systembus und die Steuerungsstruktur auf der Mikrorechnerseite
- die Prozeßsignalquellen und -senken auf der Peripherieseite
- die zur Verfügung stehenden Interface-Schaltkreise (PIO, SIO, CTC, Adreßdekoder, Multiplexer, Bustreiber, Pufferregister)
- die speziellen Einsatzbedingungen (z. B. Gleichtaktstörungen, Drift, Einstreuungen, Erdschleifen, Potentialtrennung usw.)
- die angestrebte Flexibilität im Anschluß
- den Kompromiß zwischen Hardware- und Software-Aufwand.

Bei der Gestaltung der Eingabe/Ausgabe-Schnittstelle muß der Anwender insbesondere das Zusammenspiel von Hard- und Software beachten. Dabei ist, ausgehend von den konkreten Anforderungen an die Meßdatenerfassungseinrichtung und ihrem effektiven Einsatz, stets ein Kompromiß zwischen hohem Hardware-Aufwand in Form teuerer integrierter Schaltkreise und damit schnellerer Abwicklung des Datentransfers und leichter organisierbarer Zusammenschaltung oder größerem Software-Aufwand und damit billigerer Hardware und langsamerer Arbeitsweise zu treffen.
Die mikrorechnersystembezogene Schnittstelle einer Meßwerterfassungseinrichtung wird man dabei zweckmäßigerweise als buskompatible Steckkarte für den betreffenden Mikrorechner ausführen.

1. Einsatzbedingungen, Aufbau und Wirkungsweise einer 8-Kanal-Eingabe-Schnittstelle

Im Rahmen dieses Beitrages soll eine Eingabe-Schnittstelle für den Mikrorechner K 1520 vorgestellt werden, die die Erfassung und Verarbeitung der Prozeßdaten von bis zu 8 Meßgrößenaufnehmern in einem relativ langsamen industriellen Prozeß (Informationsfluß $I \leqq 10$ kbit/s) ermöglicht. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die 8 Meßgrößenaufnehmer räumlich voneinander und auch vom Mikrorechner getrennt (sternförmig) angeordnet sind.
Unter den rauhen Einsatzbedingungen in der Automatisierungstechnik ist deshalb mit dem Auftreten von Gleichtaktstörungen, Drift und Einstreuungen bei der Analogwerterfassung (Bild 1) zu rechnen.

Bild 1. Wirkungsschema einer 8-Kanal-Analogeingabe zur Meßdatenerfassung



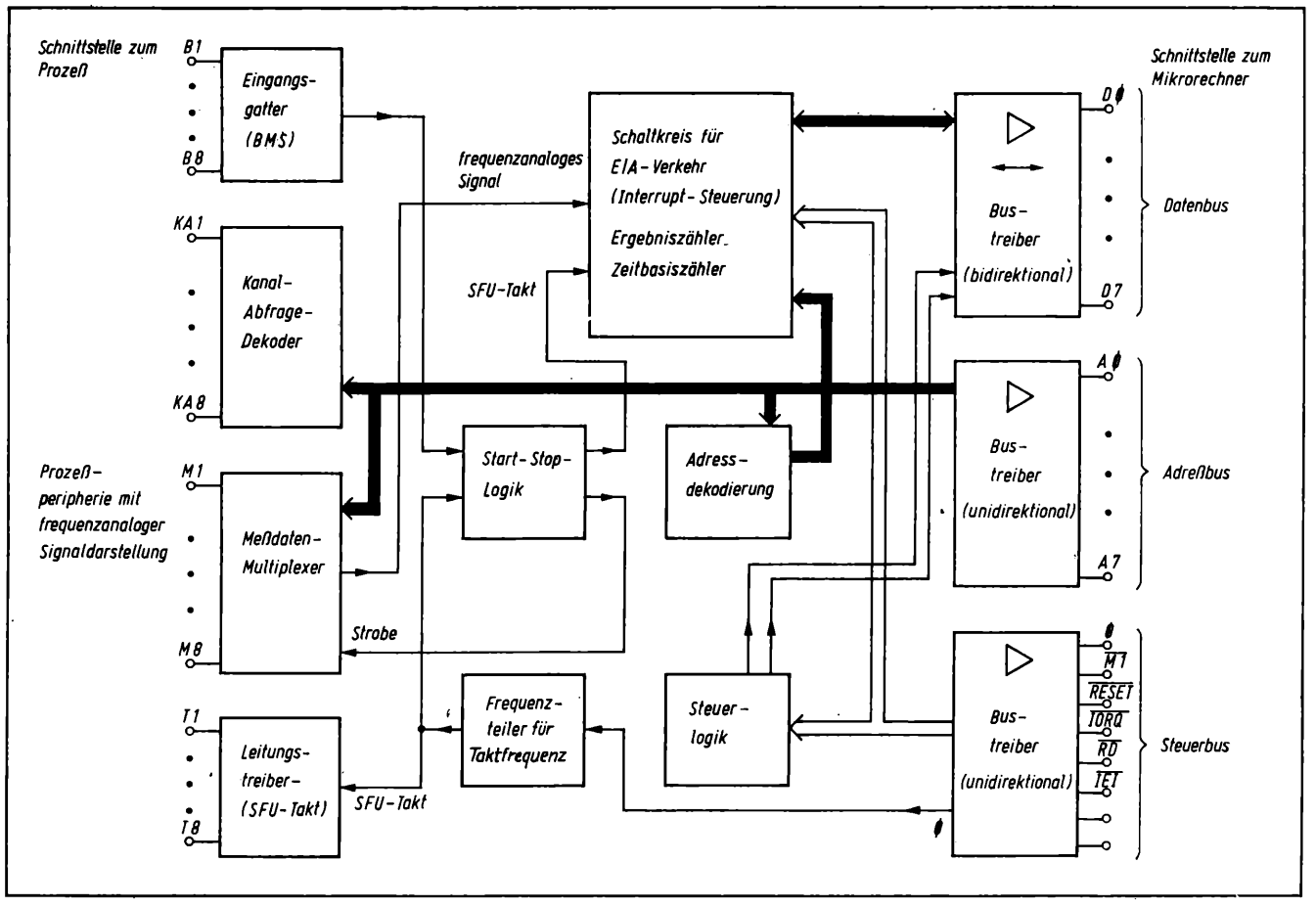


Bild 2. Wirkungsschema einer Eingabe-Schnittstelle für den Mikrorecher K 1520 mit 8 Eingängen bei frequenzanaloger Signaldarstellung

Aus diesem Grunde wurde entsprechend Bild 2 ein System zur Meßdatenerfassung für 8 Meßgrößenaufnehmer mit frequenzanaloger (exakt: tastverhältnisverschlüsselter) Signaldarstellung auf dem Übertragungsweg zwischen der Analogeingabe am Meßgrößenaufnehmer und der buskompatiblen Steckkarte für den Mikrorechner K 1520 konzipiert, das gegenüber einem konventionellen Analogwerterfassungssystem folgende technische Vorteile aufweist:

- weitgehende Unempfindlichkeit gegenüber äußeren elektrischen Störungen auf dem Übertragungsweg
- der Einsatz preiswerter, ungeschirmter Vielfachkabel ist möglich
- die Genauigkeit von System-Bestandteilen wird kaum durch Leitungsparameter und alterungs- bzw. umweltbedingte Veränderungen von Bauelementen beeinflußt
- auf den Einsatz von Analogmultiplexern kann verzichtet werden
- durch galvanische Trennung von Meß- und Systemerde mit Hilfe von Optokopplern läßt sich eine hohe Störsicherheit erzielen
- bei vergleichbarem Aufwand höhere Genauigkeit.

Die Analogeingabe für die einzelnen Meßgrößen beginnt jeweils mit einem Meßgrößenaufnehmer, der eine amplitudenanaloge Ausgangsspannung als Abbildsignal liefert. Diesem Meßgrößenaufnehmer schließt sich ein Präzisions-Vollweg-Gleichrichter an, der eine unipolare Ausgangsspannung und eine Information über das Vorzeichen der Meßgröße bereitstellt. Für bestimmte Anwendungsfälle ist es zweckmäßig, in dieser Meßkette auch noch eine Abtast- und Halteschaltung als Präzisions-Spitzenwert-Speicher vorzusehen, um das Abbildsignal der Meßgröße zu einem frei wählbaren Zeitpunkt für eine bestimmte Zeit zwischenzuspeichern. Der Ausgang der Abtast- und Halteschaltung liefert neben dem zwischengespeicherten Abbildsignal der Meßgröße auch noch ein Bereitschaftssignal (BMS). Als letztes Glied in der Meßkette befindet sich ein getakteter Spannungs-Frequenz-Umsetzer (SFU), der mit der heruntergeteilten Taktfrequenz (Teiler 5:1) des Mikrorechners K 1520 betrieben wird. Dieser SFU mit internem Strom-Frequenz-Wandler arbeitet nach dem Prinzip des Ladungsausgleichsverfahrens („Charge-balancing"-Verfahren) [1] [10] und [11] und liefert ein frequenzanaloges Ausgangssignal, das sich besonders gut zur (potentialfreien) Übertragung von Meß- und Steuergrößen bei kurzen bis mittleren Übertragungsstrecken in relativ langsamen Systemen ($I \leqq 10$ kbit/s) eignet.

Arbeitet die Analogeingabe ohne Abtast- und Halteschaltung, so bildet der Signalparameter Tastverhältnis die Meßgröße fortwährend ab.

Die Eingabe-Schnittstelle als buskompatible Steckkarte für den Mikrorechner K 1520 hat jeweils 8 Eingänge für Meßdaten (in tastverhältnisverschlüsselter Signaldarstellung), für Vorzeicheninformationen und Bereitschaftssignale, die alle TTL-Pegel haben. Darüber hinaus wird durch diese Eingabe-Schnittstelle über einen Frequenzteiler allen 8 SFU die heruntergeteilte Taktfrequenz zugeführt und über einen Abfragedekoder ein bestimmter Eingangskanal ausgewählt. Aufgabe der Eingabe-Schnittstelle ist es auch, das tastverhältnisverschlüsselte Ausgangssignal (Rechteckimpulsfolge) des Meßdaten-Multiplexers in ein digitales Signal umzusetzen. Diese Frequenz-Digital-Umsetzung mit einer Auflösung von 12 bit wird im wesentlichen durch den Ergebniszähler, den Zeitbasiszähler und eine Start-Stop-Logik nach dem Prinzip der Frequenzverhältnismessung vorgenommen. Im Gegensatz zur frequenz- und zeitverschlüsselten Signaldarstellung sind hierfür keine Zeit- oder Frequenznormale notwendig. Durch eine geeignete Wahl der Umsetzzeit ist sowohl eine Tiefpaßfilterung als auch eine Unterdrückung einer bestimmten Störfrequenz und deren Harmonischer möglich.

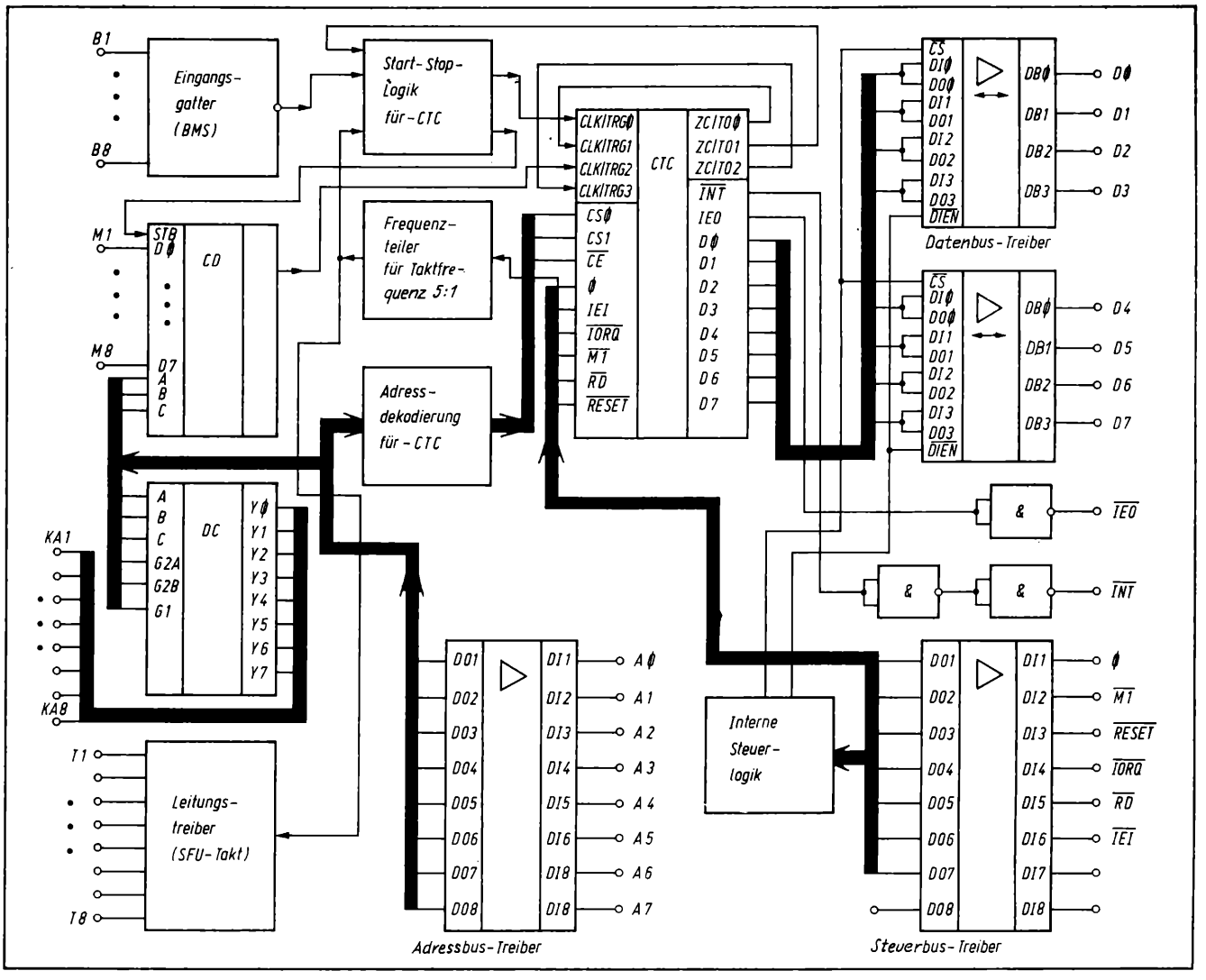
Ein buskompatibles Interface, das im wesentlichen durch Bustreiber und systemeigene, programmierbare E/A-Schaltkreise realisiert wird, ermöglicht die Ankopplung der Eingabe-Schnittstelle an den Systembus des Mikrorechners. Weitere Aufgaben sind sowohl die Abfrage der einzelnen Kanäle (Meßstellenauswahl) als auch die Aktivierung des E/A-Schaltkreises sowie der Datentransfer vom E/A-Schaltkreis in den Arbeitsspeicher des Mikrorechners. Bei 12 bit Datenwortbreite muß dieser Transfer in zwei Schritten erfolgen.

Für das im Bild 2 dargestellte Wirkungsschema einer 8-Kanal-Eingabe-Schnittstelle werden hier zwei mögliche Schaltungsvarianten näher betrachtet.

Die im Bild 3 dargestellte Eingabe-Schnittstelle ist für die Erfassung von maximal 8 Eingangskanälen mit frequenzanaloger Signaldarstellung ausgelegt und hat zur Kopplung mit der Prozeßperipherie neben dem Meßdaten-Multiplexer noch einen Kanalabfragedekoder, ein Eingangs-Gatter mit 8 Bereitschafts-Signaleingängen und einen Leitungstreiber mit 8 Ausgängen, der den einzelnen Spannungs-Frequenz-Umsetzern die durch einen Frequenzteiler heruntergeteilte Taktfrequenz zuführt. Die Umsetzung des frequenzanalogen Signals in ein digitales Signal mit einer Auflösung von 12 bit wird bei dieser Eingabe-Schnittstelle durch einen CTC-Schaltkreis und eine Start-Stop-Logik realisiert. Im CTC-Schaltkreis befinden sich u. a. vier Zähler/Zeitgeber-Kanäle, die ihrerseits wiederum je einen 8-bit-Rückwärtszähler beinhalten. Durch Zusammenschaltung zweier Zähler/Zeitgeber-Kanäle und Voreinstellung des zweiten Kanals ist es dabei möglich, auch einen 12-bit-Rückwärtszähler zu realisieren, so daß der CTC-Schaltkreis sowohl die Funktionen des Zeitbasis- als auch des Ergebniszählers wahrnehmen kann. Dabei stoppt das Nullsignal des Rückwärtszählers am Ausgang ZC/TO 1 über eine Start-Stop-Logik die weitere Zufuhr von Impulsen für beide Zähler. Bei der Initialisierung des CTC wird zunächst für alle Kanäle ein Interrupt-Verbot festgelegt und nur für Kanal 1 ein Interrupt-Vektor geladen, der den niederwertigen Teil der Adresse der Interrupt-Bedienroutine enthält. Durch eine Interrupt-Freigabe des Kanals 1 beim Start der Messung erfolgt somit eine Interrupt-Anforderung immer dann, wenn der Rückwärtszähler den Wert Null erreicht hat. Die CPU erhält dadurch vom Kanal 1 einen Interrupt-Vektor geliefert, aufgrund dessen der Mikroprozessor die Startadresse der zugehörigen Interrupt-Bedienroutine zur Übernahme des Zählerstandes der Kanalrückwärtszähler 2 und 3 (zeitlich nacheinander) in den Arbeitsspeicher ermittelt.

Über eine interne Steuerlogik werden mit Hilfe der Steuersignale $\overline{M1}$, $\overline{IEO}$, $\overline{CE}$, $\overline{IORQ}$, $\overline{RD}$ und $\overline{IEI}$ die Signale $\overline{CS}$ zur Aktivierung und $\overline{DIEN}$ zur Einstellung der Datentransferrichtung für die beiden bidirektionalen Datenbustreiber bereitgestellt. Die Adressierung der Kanalabfrage, des Meßdaten-Multiplexers und des CTC-Schaltkreises wird über die Adreßsignale A0 bis A7 durch eine Schaltung zur Adreßdekodierung realisiert. Im Bild 4 ist eine weitere Schaltungsvariante für eine Eingabe-Schnittstelle dargestellt. Die Kommunikation mit der Prozeßperipherie erfolgt über 8 Meßdateneingänge (Meßdaten-Multiplexer), 8 Vorzeicheneingänge (Vorzeichen-Multiplexer), 8 Abfrageimpulsausgänge (Abfrage-Dekoder), 8 Bereitschafts-Signaleingänge (Ein-

Bild 3. Schaltungsvariante einer 8-Kanal-Eingabe-Schnittstelle mit einem CTC-Schaltkreis



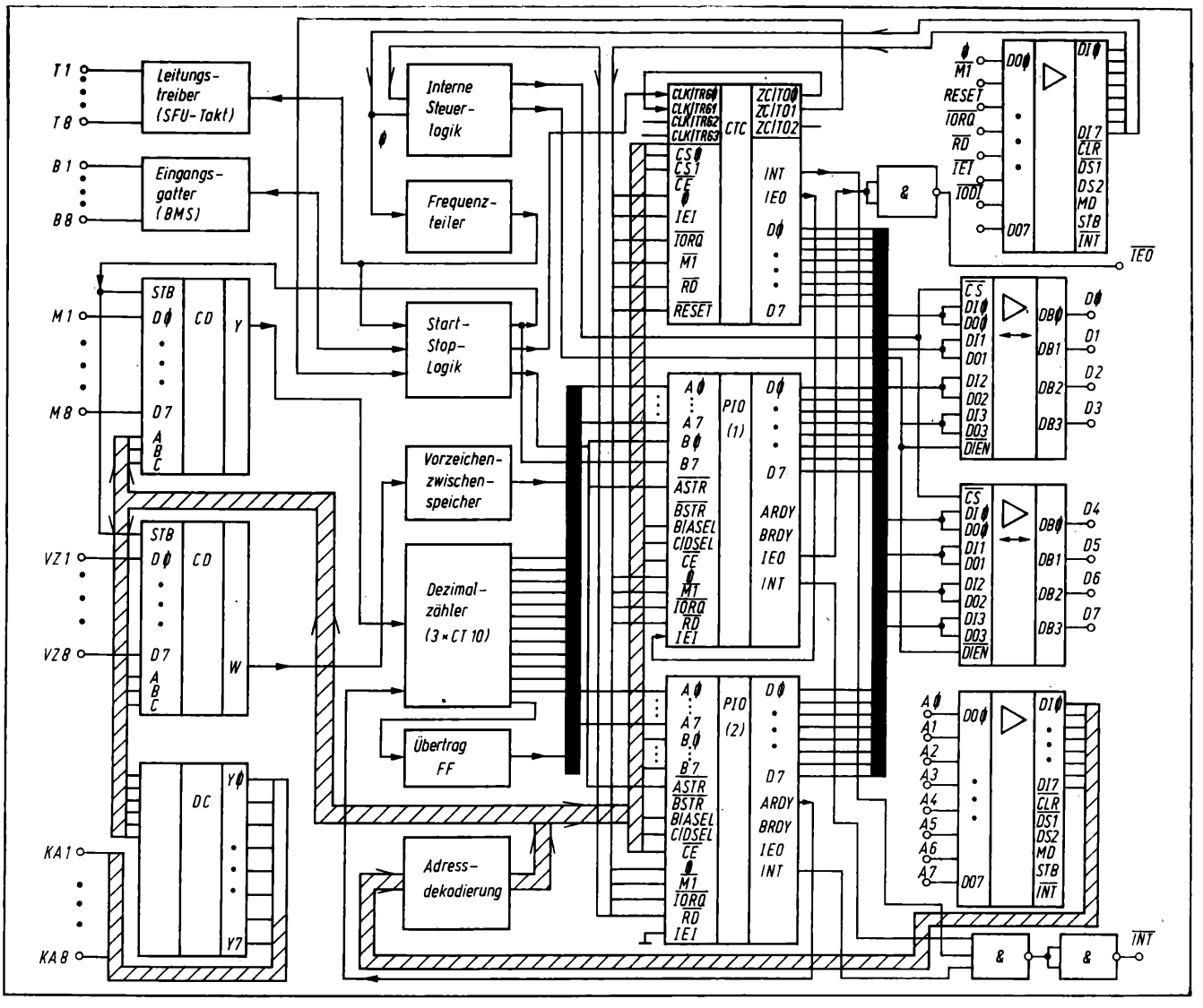


Bild 4. Schaltungsvariante einer 8-Kanal-Eingabe-Schnittstelle mit einem CTC-Schaltkreis und zwei PIO-Schaltkreisen

gangs-Gatter) und 8 Ausgänge (Leitungs-Treiber) mit der im Verhältnis 5:1 untersetzten Taktfrequenz (Systemtakt) für die einzelnen Spannungs-Frequenz-Umsetzer. Zur Umsetzung der frequenzanalogen Meßdaten in ein digitales Signal im BCD-Kode mit einer Auflösung von 10^{-3} werden ein dreiteiliger Dezimalzähler, ein CTC-Schaltkreis und eine Start-Stop-Logik eingesetzt. Die Funktion des Zeitbasiszählers läßt sich hierbei durch Hintereinanderschaltung und Voreinstellung (Programmierung) der beiden Zähler/Zeitgeber-Kanäle 0 und 1 realisieren. Durch das am Ausgang ZC/T01 nach 1000 SFU-Taktimpulsen auftretende Nullsignal des Rückwärtszählers wird über die Start-Stop-Logik die Zufuhr sowohl der SFU-Taktimpuls auf den Zeitbasiszähler als auch der frequenzanalogen Meßdaten auf den dreistelligen Ergebniszähler gesperrt. Gleichzeitig wird über die Start-Stop-Logik ein low-aktiver Triggerimpuls für die Eingänge $\overline{\text{ASTB}}$ der beiden PIO-Schaltkreise ausgelöst, wodurch die bereitstehenden Ausgangsdaten des dreistelligen Dezimalzählers und des Vorzeichen-Zwischenspeichers in die beiden Eingabe-Register übernommen werden.

Die Betriebsart der einzelnen Ports der beiden PIO-Schaltkreise wird folgendermaßen festgelegt:

PIO 1: Port A: Betriebsart 1 (Byte-Eingabe)
Port B: Betriebsart 3 (Bit-Steuerung)

PIO 2: Port A: Betriebsart 1 (Byte-Eingabe)
Port B: Betriebsart 0 (Byte-Ausgabe).

Die Datenübernahme von den beiden PIO-Schaltkreisen in den Arbeitsspeicher erfolgt durch Programmunterbrechung (Anspringen von Interrupt-Bedienroutinen) im Interruptmodus 2. Eine vom Kanal 1 des CTC-Schaltkreises durch das Nullsignal des Rückwärtszählers ausgelöste Interrupt-Anforderung mit dem dazugehörigen Interrupt-Vektor liefert den niederwertigen Teil der 2 byte umfassenden Listenadresse, aus der die CPU dann die Startadresse für die entsprechende Interrupt-Bedienroutine zur Übernahme der im Port A der PIO 1 stehenden Daten entnimmt. Nach Vollzug der Datenübernahme fordert die PIO 1 einen Interrupt an. Der dazugehörige Interrupt-Vektor liefert dabei wiederum den niederwertigen Teil der 2 byte umfassenden Listenadresse, aus der dann die CPU die Startadresse für die entsprechende Interrupt-Bedienroutine ermittelt, die den Transfer der im Port A der PIO 2 stehenden Daten in den Arbeitsspeicher ausführt.

Die Interrupt-Prioritätssteuerung erfolgt dabei hardwaremäßig durch Kaskadierung („Daisy chain priority logic") des CTC und der PIO 1. Für die PIO 2 wurde die Interrupt-Anforderung durch Verbindung des Einganges IEI mit Masse hardwaremäßig unterbunden. Das Rückstellsignal für den dreistelligen Dezimalzähler und den Vorzeichen-Zwischenspeicher wird aus dem Signal ARDY der PIO 2 abgeleitet.

Die 8 Eingabe/Ausgabe-Leitungen vom Port B der PIO 1 können wahlweise als Eingabe- bzw. Ausgabe-Leitungen für den Transfer von Steuersignalen definiert werden.

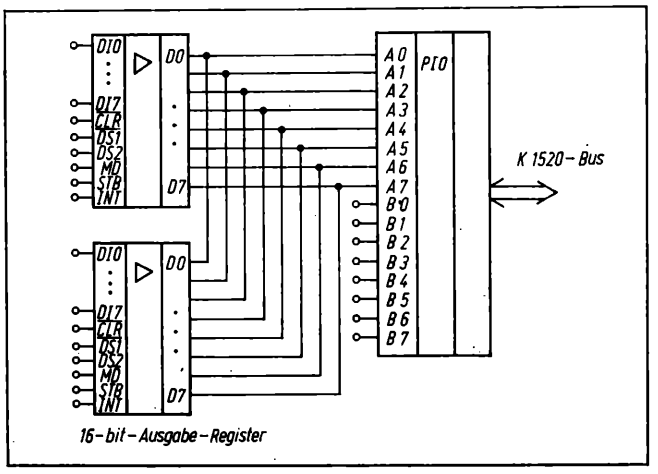


Bild 5. Schaltungsvariante zur Realisierung des Transfers von drei Dezimalstellen Meßdaten und einer Vorzeicheninformation über ein Port der PIO

Über Port B der PIO 2 erfolgt der Transfer der Abfragesteuersignale und Meßstellenadressen vom Rechner zur Peripherie. Prinzipiell kann die im Bild 4 dargestellte Eingabe-Schnittstelle mit einer Verarbeitungsbreite von drei Dezimalstellen auch nur mit einer PIO realisiert werden. Dazu ist es erforderlich, entsprechend Bild 5 jeweils die niederwertigen zwei Dezimalstellen und die höherwertige Dezimalstelle mit dem Vorzeichen getrennt auf zwei 8-bit-unidirektionale Pufferregister zu geben. Die Datenausgänge D0Ø bis D07 der beiden Pufferregister, die hierbei als 8-Kanal-Schalter betrieben werden, sind mit dem Port A der PIO verbunden, das in Betriebsart 1 (Byte-Eingabe) arbeitet.

Eine entsprechende Steuerung der beiden Pufferregister erfolgt über die Eingänge $\overline{\text{DS 1}}$ und DS 2. Dadurch ist es möglich, zeitlich nacheinander zuerst die niederwertigen zwei Dezimalstellen und danach die höherwertige Dezimalstelle mit dem Vorzeichen in das Port A der PIO einzulesen. Das Port B der PIO arbeitet wiederum in der Betriebsart 3 (Bit-Steuerung), so daß die 8 Eingabe/Ausgabe-Leitungen für den Transfer von Adreß- und Steuersignalen wahlweise als Eingabe- bzw. Ausgabe-Leitungen definiert werden können.

2. Zusammenfassung

Der Beitrag beschäftigt sich mit applikativen Gesichtspunkten bei der praktischen Realisierung von Mehrkanal-Eingabe-Schnittstellen zur mikrorechnergestützten Meßdatenerfassung bei frequenzanaloger Signaldarstellung auf dem Übertragungsweg zwischen Prozeßperipherie und Mikrorechner.

Mehrkanal-Eingabe-Schnittstellen auf der Basis frequenzanaloger Signaldarstellung lassen sich besonders vorteilhaft zur mikrorechnergestützten Meßdatenerfassung und -reduktion einsetzen, wenn die einzelnen Meßstellen der Prozeßperipherie räumlich voneinander getrennt angeordnet sind und es dabei nicht sinnvoll ist, jeder einzelnen Meßstelle einen Mikrorechner (Auslastung!) zuzuordnen. Anhand von zwei ausgewählten Schaltungsvarianten einer Mehrkanal-Eingabe-Schnittstelle, die als buskompatible Steckkarten für den Mikrorechner K 1520 an der TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Informationstechnik, aufgebaut und getestet wurden, werden wesentliche Gesichtspunkte des Aufbaus und der Wirkungsweise diskutiert.

Das vorgeschlagene Konzept einer Eingabe-Schnittstelle zur Prozeßdatenerfassung auf der Basis einer frequenzanalogen Signalübertragung und sternförmiger Struktur, bei dem der Mikrorechner direkt am Sternpunkt angeordnet ist, stellt für kleine Meßwerterfassungssysteme in unmittelbarer Prozeßnähe eine wirtschaftliche und funktionssichere Lösung dar.

Literatur

[1] *Krauß, M.; Jehmlich, W.; Engewald, J.:* A/D-Umsetzung bei der Meßdatenerfassung, insbesondere unter dem Aspekt der Kopplung mit dem Mikrorechner K 1520. msr 25 (1982) H. 2, S. 62–67.

[2] *Jehmlich, W.:* Applikative Gesichtspunkte bei der mikroprozessorgestützten Meßdatenerfassung, -reduktion und -auswertung. Nachrichtentechnik-Elektronik 30 (1980) H. 12, S. 518–522.

[3] *Schwarz, W.; Meyer, G.; Eckhardt, D.:* Mikrorechner. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.

[4] *Albrecht, H.:* Analogdaten-Wandlungsbaugruppe für Mikrorechneranschluß. Nachrichtentechnik-Elektronik 29 (1979) H. 11, S. 467–470.

[5] *Kalis, H.; Klinck, M.; Landvogt, G.; Lemmrich, J.; Schröder, G.:* Frequenzanaloges Prozeßführungssystem. Elektronik (1974) H. 10, S. 361–364.

[6] *Heutink, H.:* Meßdatenerfassung: Moduln. Elektronik (1978) H. 2, S. 37–44.

[7] *Tränkler, H. R.:* Meßwerterfassung auf der Basis frequenzanaloger Signaldarstellung. ATM 42 (1975) Lieferung 474/475, S. 133–138.

[8] *Novickij, P. V.; Knorring, V. G.; Gutnikov, V. S.:* Frequenzanaloge Meßeinrichtungen. Berlin: VEB Verlag Technik 1975.

[9] *Nentwig, K.:* Meßwertübertragung und -verarbeitung bei industriellen Prozessen. industrie-elektrik + elektronik 26 (1981) H. 2, S. 16–18.

[10] *Kime, C.; Kusterer, V.:* „Charge-balancing" – ein neues A/D-Integrationsverfahren. Elektronik 23 (1974) H. 12, S. 469–471.

[11] *Seifart, M.; Bogk, D.:* Spannungs- und Stromfrequenzwandler mit hoher Linearität und großem Dynamikbereich. Nachrichtentechnik-Elekronik 27 (1977) H. 6, S. 255–258.

[12] *Jugel, A.:* Mikroprozessorsysteme. Berlin: VEB Verlag Technik 1978.

msr 7570

Noch lieferbar

Lichtleitertechnik

Eine Einführung

Von Dr.-Ing. habil. Wolfgang Glaser

128 Seiten, 113 Bilder, 7 Tafeln, Broschur, 10,— M, Ausland 14,— M.

Bestellangaben: 5529565/Glaser, Lichtleiter

Das Buch führt allgemeinverständlich in diese Technik ein und beschreibt sowohl Funktionselemente (Lichtsendedioden, Lichtleiter, Lichtempfänger, optische Bauelemente) als auch Probleme der Nachrichtennetzgestaltung und zukünftige Entwicklungsrichtungen.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

TECHNIK-WÖRTERBÜCHER

Eine Übersicht über das **Lieferprogramm 1982** bietet ein neuer Sonderprospekt.

Bitte direkt anfordern vom

VEB Verlag Technik, Abteilung Werbung

Speicheroszillograf OG 2–31

(Meßelektronik Berlin), auch defekt,

dringend gesucht

Kombinat VEB Pentacon Dresden

Objekt 8, Abt. TKW

8021 Dresden

Schandauer Str. 76

Telefon 2233961, App. 242

Dr.-Ing. *G. Müller*, Magdeburg[1])

Digitaler Mehrkanalregler für Zweigrößenregelung mit Entkopplungsreglern vom PID-Typ

IA 2.3.1.7; 5.0.

0. Einleitung

Die Anwendung der Mikroelektronik in der Automatisierungsgerätetechnik führt zum Generationswechsel elektronischer Regelgeräte auf der Basis von Mikroprozessoren und weiterer hochintegrierter Schaltkreise [1] bis [4]. Vom Institut für Regelungstechnik Berlin wurde in Kooperation mit Hochschulen der DDR ein universell einsetzbares Vierkanal-Mikroprozessor-Bausteinreglermuster realisiert [1] und [4].
In diesem Beitrag werden Möglichkeiten und Lösungsvorschläge für Zweigrößenregelungen mit dem digitalen Mehrkanalregler vorgestellt. Am Beispiel der näherungsweise entkoppelten Zweigrößenregelung mit Haupt- und Entkopplungsreglern vom PID-Typ werden Schlußfolgerungen für die praktische Anwendung des digitalen Reglers abgeleitet. Damit wird ein breites Anwendungsfeld von Prozeßregelungsaufgaben erschlossen.

1. Aufgabenstellung

1.1. Regelungsaufgabe

Der Entwurf und die Projektierung von Regelsystemen sind bei vielen praktischen Aufgaben dadurch gekennzeichnet, daß für die Automatisierungsobjekte im Projektierungsstadium im günstigen Fall qualitative Prozeßmodelle (geringe Streckenkenntnis) vorliegen, die meist erst bei der Inbetriebnahme des Automatisierungssystems präzisiert werden können [9]. Für die Festlegung der Automatisierungsstruktur zur Prozeßstabilisierung durch Regelung ist eine sinnvolle Zerlegung (Dekomposition) des Objektes in Ein- und Zweigrößenregelstrecken zweckmäßig [5]. Das geschieht um so besser, je exakter die Prozeßkenntnis im Projektierungsstadium ist.
Für den Fall der zu betrachtenden Zweigrößenregelung mit Haupt- und Entkopplungsreglern vom PID-Typ ist die Erzielung der angenäherten

- Führungsautonomie
- Störautonomie (Invarianz)

als regelungstechnische Aufgabenstellung relevant. Die Beurteilung der Regelgüte erfolgt anhand des Übergangsverlaufes der Regelgrößen.
Die Lösung der Aufgabe ist aufgrund der Hard- und Softwarefunktionen des in [4] vorgestellten digitalen Vierkanalreglers effektiv möglich. Dazu werden die für Kaskadenregelung vorgesehenen Reglerkanäle RK 1 bis RK 4 als Haupt- bzw. Entkopplungsregler benutzt (Bild 1).
Aufgrund der hinreichend häufigen Abtastung von 0,3 s und der mehr als zehnmal größeren dominierenden Streckenzeitkonstanten, die für Verfahrensregelungen im allgemeinen zutreffen, kann das Reglerverhalten als quasikontinuierlich und wegen der genügend hohen Auflösung des A/D-Umsetzers bei der Amplitudenquantisierung als quasianalog betrachtet werden. Die bei der Tastzeit $T = 0{,}3$ s einstellbaren Reglerparameter $K_R = 0{,}1$ bis 31,99; $T_V = 0{,}5 \ldots 31{,}99$ s und $T_N = 2 \ldots 127{,}9$ s entsprechen denen der herkömmlichen analogen elektronischen Regler und erfüllen die Anforderungen bei Prozeßregelaufgaben. Die Strukturierung (Adressenzuweisung) und Parametrierung des Reglers erfolgt problemlos über eine Anzeige- und Bedieneinheit mit Tastenfeld und vierstelligen LED-Anzeigen.

1.2. Technologische Aufgabe

Der Einsatz des Mikroprozessor-Reglers (MPR) erfolgt an einer Druck-Durchflußregelstrecke eines Behälter-Rohrleitungssystems [6]. Die Regelgröße Druck ist von besonderer Bedeutung, und Wert wird speziell auf Führungsgrößenregelung gelegt. Aus Gründen der Vereinfachung und Übersichtlichkeit werden die Meß- und Stelleinrichtungen zur Regelstrecke gezählt. Im Bereich eines Arbeitspunktes kann für kleine Abweichungen Linearität der statischen Kennlinien angenommen werden.
Das reale Stellübertragungsverhalten der Zweigrößenregelstrecke ist höherer Ordnung. Folgende approximierte Übertragungsfunktionen für die Haupt- und Koppelstrecken werden

[1]) Mitteilung aus der TH „Otto von Guericke" Magdeburg, Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik.

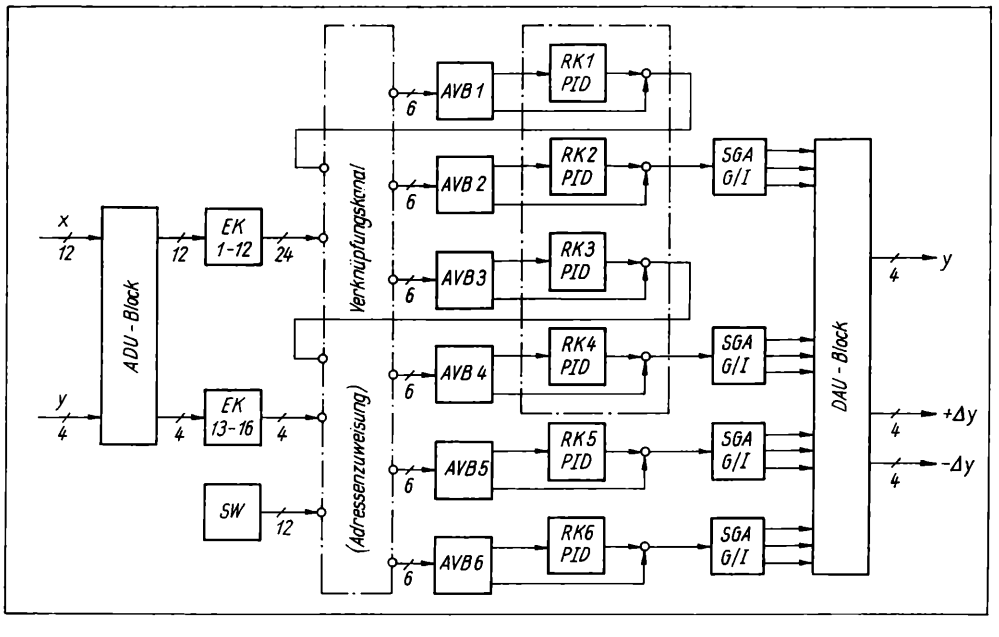


Bild 1. Verarbeitungsstruktur eines Mikroprozessor-Vierkanalreglers (4)
EK Eingangskanal; SW Sollwertblock; AVB Arithmetikverknüpfungsblock; RK Reglerkanal; SGA Stellgrößenausgabeblock; G/I Ganzwert/Inkrement

angesetzt[2]):

$$S_{11}(p) = \frac{0{,}85}{1 + 9p} \tag{1}$$

$$S_{22}(p) = \frac{0{,}3(1 + 35p)}{1 + 24p} \tag{2}$$

$$S_{12}(p) = \frac{-0{,}5}{1 + 7p} \tag{3}$$

$$S_{21}(p) = \frac{0{,}87}{1 + 8p}. \tag{4}$$

Die für die rechnerische Behandlung und experimentelle Untersuchung besonders günstige und anschauliche p-kanonische Struktur der Zweigrößenregelstrecke ist im Bild 2 dargestellt. Es liegt eine relativ schnelle statisch und dynamisch unsymmetrische Zweigrößenregelstrecke mit annähernd gleichstarker und gleichschneller negativer Kopplung vor. Der betragsmäßig größere statische Koppelfaktor $\varkappa(0) = -1{,}7$ $(-0{,}6)$ ist ausschlaggebend für die Festlegung der Haupt- und Koppelstrecken. Auf weitere Fragen der Stellgrößen-Regelgrößen-Zuordnung wird nicht eingegangen, da im Verknüpfungskanal (Bild 1) durch neue Adressenzuweisung problemlos eine Vertauschung vorgenommen werden kann [10].

Als Störgröße wirkt ein sprungförmig realisiertes künstliches Leck, wodurch ein meßbarer Volumenstrom aus dem Behälter-Rohrsystem entweicht und Druck und Durchfluß verringert werden.

Der Baugliedplan des Zweigrößenregelsystems ist im Bild 3 angegeben. Am digitalen Vierkanalregler sind die freien Ein- und Ausgänge angedeutet, die nach Bedarf für zwei weitere einschleifige Regelungen bzw. für Hilfsgrößenaufschaltungen nutzbar sind.

[2]) Der erste Index deutet auf das Ziel und der zweite auf die Ursache hin.

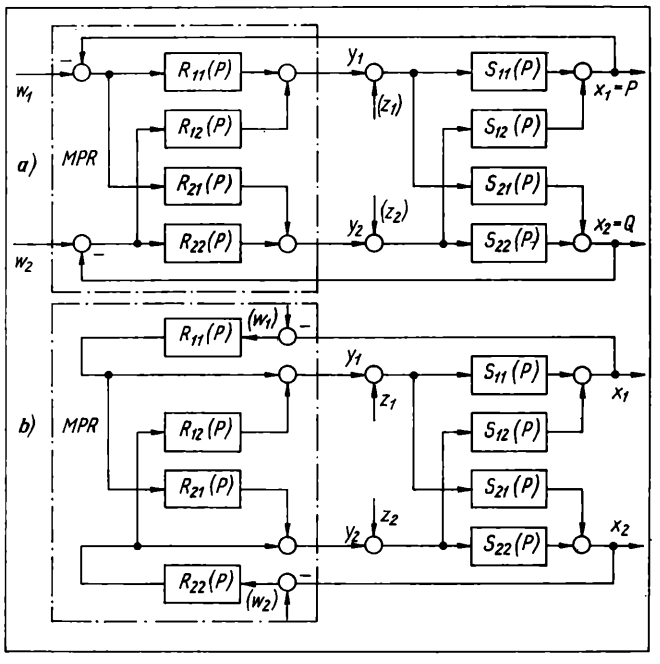


Bild 2. Signalflußbild des Zweigrößenregelsystems mit Haupt- und Entkopplungsreglern vom PID-Typ

a) Führungsautonomie; b) Störautonomie

2. Zweigrößenregelung mit näherungsweiser Entkopplung

2.1. Entwurf autonomer Zweigrößenregelsysteme

Zwei Eingrößenregelungen von Druck und Durchfluß haben den gemeinsamen Nachteil, daß sich Führungs- bzw. Störgrößenänderungen in dem einen Regelkreis merklich auf die andere Regelgröße auswirken, was im allgemeinen unerwünscht ist. Mit dem Mikroprozessor-Vierkanalregler läßt sich sehr einfach und ohne zusätzlichen Aufwand eine näherungsweise Entkopplung der beiden Regelkreise realisieren [7] und [8]. Die exakten Entkopplungsbedingungen verlangen schon bei einfachen (approximierten) Streckenübertragungsfunktionen komplizierte Entkopplungsregler, jedoch beeinträchtigen wegen ihrer Universalität PID-Regler in Zweigrößenregelungen den Erfolg der Entkopplung nur unwesentlich.

Die Hauptregler $R_{11}(p)$ und $R_{22}(p)$ für Druck bzw. Durchfluß werden auf der Grundlage der Gln. (1) und (2) im Bode-Diagramm nach den bekannten Methoden entworfen (Bild 4a). Um die Regelergebnisse möglichst gut zu gestalten und das Leistungsvermögen des MPR weitestgehend auszuschöpfen, werden an die Hauptregelstrecken PI-Regler angepaßt:

$$R_{11}(p) = 1 + \frac{1}{10p} = \frac{0{,}1}{p}(1 + 10p), \tag{5}$$

$$R_{22}(p) = 1 + \frac{1}{12p} = \frac{0{,}083}{p}(1 + 12p). \tag{6}$$

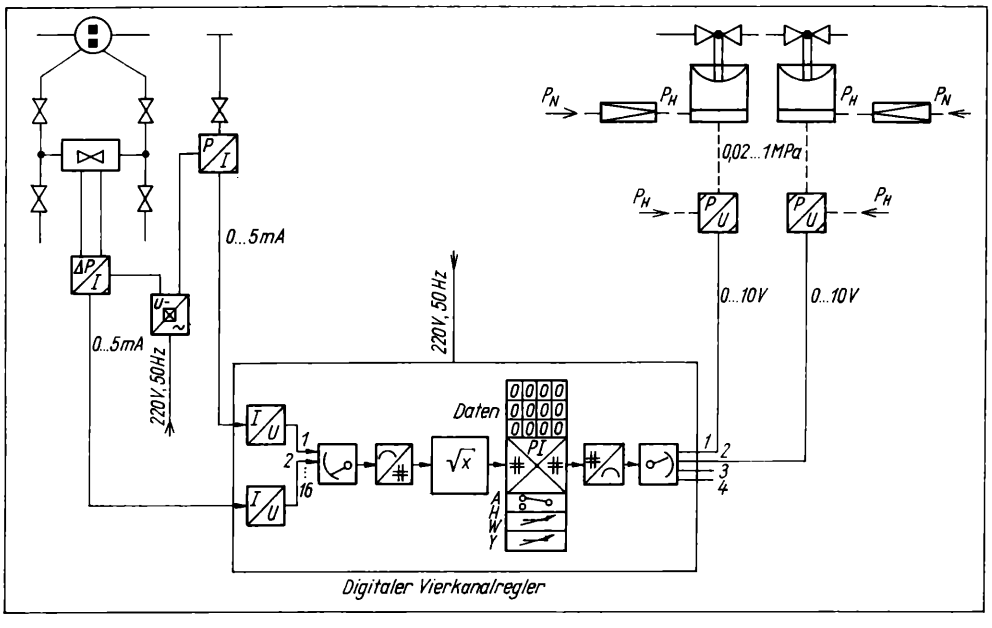


Bild 3. Baugliedplan des Zweigrößenregelsystems (Druck und Durchfluß)

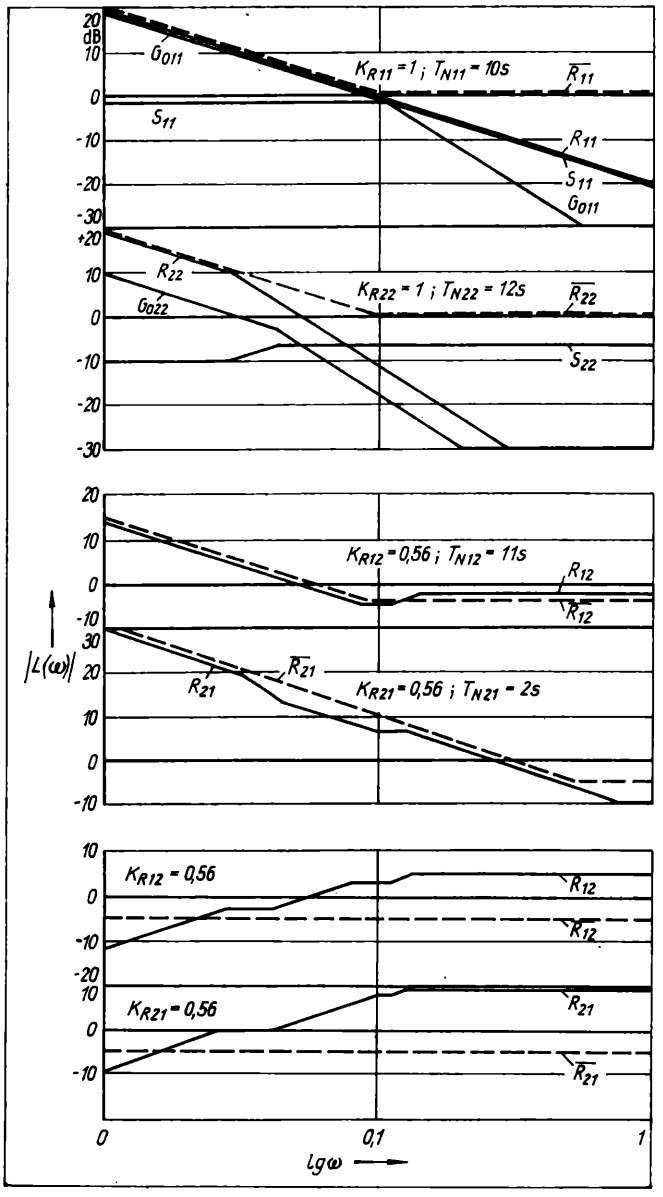


Bild 4. Reglerentwurf

a) Entwurf der Hauptregler **(oben)**
b) Entwurf der Entkopplungsregler bei Führungsautonomie **(mitte)**
c) Entwurf der Entkopplungsregler bei Invarianz **(unten)**

Der Entwurf der angenäherten Entkopplungsregler erfolgt ebenfalls anhand des Amplitudenganges $L(\omega)$ im Bode-Diagramm. Wegen der anzustrebenden statischen Entkopplung sollen die Amplitudengänge der exakten und angenäherten Entkopplungsregler bei niedrigen Frequenzen möglichst gut übereinstimmen.

a) Führungsautonomie

Auf der Grundlage der Gln. (1) bis (6) ergeben sich für die Entkopplungsregler des p-kanonischen Zweigrößenreglers, um Führungsautonomie zu erzielen, folgende Übertragungsfunktionen:

$$R_{12} = -R_{22}\frac{S_{12}}{S_{11}} = \frac{0{,}049(1+9p)(1+12p)}{p(1+7p)}, \tag{7}$$

$$R_{21} = -R_{11}\frac{S_{21}}{S_{22}} = \frac{-0{,}29(1+10p)(1+24p)}{p(1+8p)(1+35p)}. \tag{8}$$

Dieses Übertragungsverhalten der Entkopplungsregler ist mit der Standardvariante des Digitalreglers nicht realisierbar. Deshalb werden im Bode-Diagramm (s. Bild 4b) angenäherte Entkopplungsregler $\overline{R_{12}}$ und $\overline{R_{21}}$ ermittelt, mit denen sich eine brauchbare Entkopplung der Kreise untereinander erzielen läßt:

$$\overline{R_{12}} = 0{,}56\left(1+\frac{1}{11p}\right), \tag{9}$$

$$\overline{R_{21}} = -0{,}56\left(1+\frac{1}{2p}\right). \tag{10}$$

Wegen der näherungsweisen Entkopplung ergibt sich gutes Regelverhalten nur in einem (meist niederen) Frequenzbereich.

b) Störautonomie (Invarianz)

Für die Entkopplungsregler in p-ähnlicher Struktur des invarianten Zweigrößenregelsystems ergeben sich nachstehende komplizierte Übertragungsfunktionen:

$$R_{12} = -\frac{S_{12}}{S_{22}R_{22}S_{11}} = \frac{23{,}6p(1+9p)(1+24p)}{(1+7p)(1+12p)(1+35p)}, \tag{11}$$

$$R_{21} = -\frac{S_{21}}{S_{11}R_{11}S_{22}} = \frac{-34{,}1p(1+9p)(1+24p)}{(1+8p)(1+10p)(1+35p)}. \tag{12}$$

Die praktisch realisierbaren Entkopplungsregler werden grafisch im Bode-Diagramm ermittelt (s. Bild 4c) und als P-Regler angesetzt, da nur geringe Forderungen an das Störverhalten gestellt werden:

$$\overline{R_{12}} = 0{,}56 \tag{13}$$

$$\overline{R_{21}} = -0{,}56\,. \tag{14}$$

Auf die Hinzunahme von D-Anteilen in den Reglern wird wegen der schnellen Teilstrecken verzichtet.

Bei der Strukturierung (Adressenzuweisung im Verknüpfungskanal) des digitalen Vierkanalreglers werden die Vorzeichen der Entkopplungsregler berücksichtigt.

Wie aus den Gln. (7) und (8), (11) und (12) zu ersehen ist, ergeben sich bereits für einfachste (approximierte) Strecken bei vollständiger Entkopplung relativ komplizierte Ausdrücke, die über das PID-Regelgesetz hinausgehen. Bei der Prozeßregelung wird deshalb die Aufgabe immer auf eine näherungsweise Entkopplung führen, womit auch übliche Anforderungen an die Regelgüte erfüllt werden.

2.2. Zweigrößenregelung bei Führungsautonomie

Zur Realisierung der Zweigrößenregelung für Führungsautonomie werden von der Vielzahl funktionell gleichartiger Softwaremodule des Digitalreglers nach Bild 1 folgende benutzt, die durch entsprechende Strukturierung miteinander verknüpft werden:

- Eingangskanal EK 01 für den Druck P und EK 02 für den Durchfluß Q (Signal des Differenzdruckes, das im EK 02 radiziert wird)
- Reglerkanal RK 2 für Hauptregler R_{11} und RK 4 für Hauptregler R_{22}
- Reglerkanal RK 1 für Entkopplungsregler $\overline{R_{21}}$ und RK 3 für Entkopplungsregler $\overline{R_{12}}$.

Im Bild 1 sind diese internen Reglerkanäle strichpunktiert eingerahmt.

Die Regelergebnisse sind im Bild 5 dargestellt. In der Tafel sind zum Vergleich mit anderen Regelsystemen die Ergebnisse in der Übersicht gezeigt. Eine geringfügige Verbesserung des Regelverhaltens kann bei der Inbetriebnahme, ausgehend von den entworfenen Wertepaaren für die PI-Haupt- und PI-Entkopplungsregler, relativ schnell experimentell erzielt werden (Kurven 2).

Ein Vergleich der Regelergebnisse zeigt, daß bei näherungsweiser Entkopplung mit PI-Reglern die Führungsgrößen auf die zugehörigen Regelgrößen wirken, während sich die jeweils andere Regelgröße kaum ändert.

Tafel. Übersicht zu den Regelergebnissen unterschiedlicher Zweigrößenregelungen

Art der Regelung	Führungsverhalten								Störverhalten	
	Druckregelkreis				Durchflußregelkreis					
	Druck			Durchfluß	Druck	Durchfluß			Druck	Durchfluß
	Δh in %	Tm in s	$T5\%$ in s	$\lvert\Delta Q\ \max\rvert$ in%	$\lvert\Delta P\ \max\rvert$ in%	Δh in %	Tm in s	$T\,5\%$ in s	$\lvert\Delta P\ \max\rvert$ in %	$\lvert\Delta Q\ \max\rvert$ in %
1. Nichtentkoppelte Zweigrößenregelung										
nach Entwurf	121	4	73	6,6	2,0	117	3	30	2,6	2,0
nach Korrektur	33	7	25	3,3	1,1	10	15	25	2,8	2,3
2. Zweigrößenregelung mit Entkopplungsreglern										
2.1. Führungsautonomie										
nach Entwurf	14	5	17	1,4	0,4	0	–	61	2,3	2,0
nach Korrektur	3	13	10	0,1	0,2	3	3	9	2,3	1,3
2.2. Invarianz										
nach Entwurf	20	33	49	0,6	2,0	21	40	60	1,7	1,3
nach Korrektur	13	5	17	1,0	0,6	0	–	16	1,5	1,2

Anmerkung: $\Delta P\max$ und $\Delta Q\max$ sind die absoluten Abweichungen im gewählten Arbeitspunkt.

2.3. Zweigrößenregelung bei Invarianz

Für die Realisierung des invarianten Zweigrößenregelsystems werden die gleichen Module benutzt wie bei Führungsautonomie, allerdings ist eine andere Strukturierung (Adressenzuweisung im Verknüpfungskanal mit Hilfe des Tastenfeldes der Anzeige- und Bedieneinheit) erforderlich (s. Bild 2b). Die Eingangs- und Ausgangssignalbelegung ist die gleiche, d. h., es sind keine neuen Klemmenbelegungen erforderlich.

Die Regelergebnisse sind im Bild 6 und in der Tafel dargestellt. Obgleich die Regelgüte mit den entworfenen Entkopplungsreglern für die näherungsweise Invarianz bereits befriedigt, können durch weitere Untersuchungen am Zweigrößenregelsystem geringe Verbesserungen der Übergangsverläufe erzielt werden (Kurven 2).

Bereits die Entkopplung mit P-Gliedern im Gegensatz zu den komplizierten Ausdrücken für R_{12} und R_{21} nach den Gln. (11) und (12) führt zu guten Regelergebnissen, die nur unwesentlich durch kompliziertere Entkopplungsregler verbessert werden können.

3. Einschätzung der Ergebnisse

Die Realisierung von Zweigrößenregelungen mit Haupt- und Entkopplungsreglern vom PID-Typ ist mit dem Vierkanal-Mikroprozessor-Bausteinreglermuster mit Erfolg möglich. Im folgenden werden, abgeleitet aus den durchgeführten Untersuchungen an einer Druck-Durchflußregelung, einige Ergebnisse angegeben.

1. Die Realisierung der entkoppelten Zweigrößenregelung erfordert relativ geringen Entwurfsaufwand und führt selbst bei praktisch immer notwendiger näherungsweiser Entkopplung zu sehr guten Regelergebnissen bei Führungs- bzw. Störverhalten.

2. Außer der näherungsweisen entkoppelten Zweigrößenregelung (maximal vier interne Reglerkanäle bei vollständig gekoppelter Zweigrößenstrecke) sind mit dem Digitalregler zwei weitere einschleifige Regelkreise realisierbar. Weitere Verbesserungen der Regelgüte des Zweigrößensystems und der anderen beiden Regelkreise sind durch Aufschaltungen von Hilfsgrößen

Bild 5. Übergangsverhalten der Regelgrößen des Zweigrößenregelsystems bei näherungsweiser Führungsautonomie

Kurven 1: R_{11}: $K_{R_{11}} = 1$, $T_{N_{11}} = 10$ s; R_{22}: $K_{R_{22}} = 1$, $T_{N_{22}} = 12$ s; R_{21}: $K_{R_{21}} = -0{,}56$, $T_{N_{21}} = 2$ s; R_{12}: $K_{R_{12}} = 0{,}56$, $T_{N_{12}} = 11$ s

Kurven 2: R_{11}: $K_{R_{11}} = 2$, $T_{N_{11}} = 6$ s; R_{22}: $K_{R_{22}} = 1{,}5$, $T_{N_{22}} = 3$ s; R_{21}: $K_{R_{21}} = -0{,}5$, $T_{N_{21}} = 2$ s; R_{12}: $K_{R_{12}} = 0{,}5$, $T_{N_{12}} = 2$ s

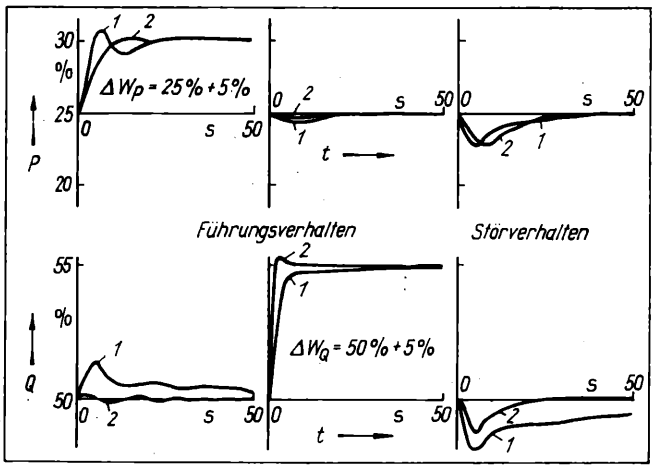
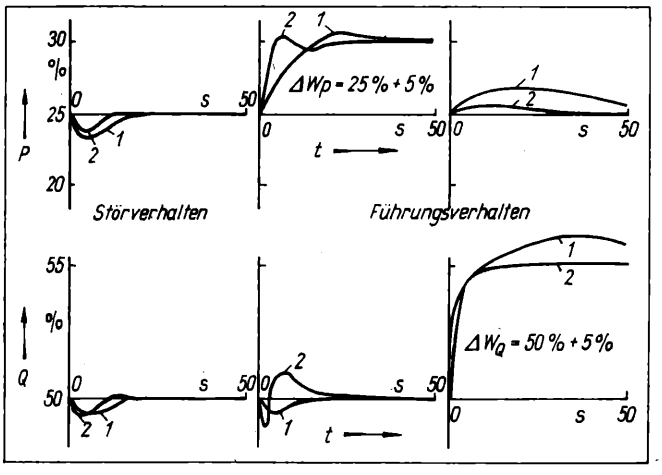


Bild 6. Übergangsverhalten der Regelgrößen des Zweigrößenregelsystems bei näherungsweiser Invarianz

Kurven 1: R_{11}: $K_{R_{11}} = 1$, $T_{N_{11}} = 10$ s; R_{22}: $K_{R_{22}} = 1$, $T_{N_{22}} = 12$ s; R_{21}: $K_{R_{21}} = -0{,}56$; R_{12}: $K_{R_{12}} = 0{,}56$

Kurven 2: R_{11}: $K_{R_{11}} = 3$, $T_{N_{11}} = 6$ s; R_{22}: $K_{R_{22}} = 1$, $T_{N_{22}} = 3$ s; R_{21}: $K_{R_{21}} = -0{,}3$; R_{12}: $K_{R_{12}} = 1$



möglich. Praktisch realisierbar ist eine Dreigrößenregelung mit zwei Entkopplungsreglern zur näherungsweisen Kompensation von zwei dominierenden Streckenkopplungen.

3. Die gegebenenfalls bei der Inbetriebnahme vorzunehmende Vertauschung der Stellgrößen-Regelgrößen-Zuordnung und Strukturänderungen der Reglerkanäle werden problemlos programmtechnisch von einem Tastenfeld aus und nicht montagetechnisch durchgeführt.

4. Die Ergebnisse zur Zweigrößenregelung mit Haupt- und Entkopplungsreglern vom PID-Typ unterstreichen die Zweckmäßigkeit des Entwurfes der Regler aufgrund approximierter Strekkenübertragungsfunktionen nach bekannten Methoden und die Anpassung der Reglerparameter an die reale Strecke während der Inbetriebnahme bzw. die Änderung der Reglerstruktur.

Das Einsatzgebiet des digitalen Mehrkanalreglers ist praktisch nicht eingeschränkt, und selbst für schnelle Druck-Durchflußregelungen ergeben sich sehr gute Regelergebnisse. Praktische Anwendungen sind vorrangig an folgenden Prozessen zu erwarten: Kraftwerksprozesse (Dampferzeuger und Hilfsaggregate), Petrolchemie, Grundstoff-, Verarbeitungs- und Chemiefaserindustrie, Nahrungs- und Genußmittelindustrie, Klimaprozesse, Landwirtschaft u. ä.

Die Ergebnisse treffen vollinhaltlich zu für die Basiseinheiten einer mikroelektronischen Automatisierungsanlagengeneration des VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow [11].

Zusammenfassung

Als Applikationsbeispiel wird der Einsatz eines Vierkanal-Mikroprozessor-Bausteinreglermusters als Zweigrößenregler mit Haupt- und Entkopplungsreglern vom PID-Typ an einer schnellen Druck-Durchflußregelstrecke behandelt. Die Effektivität des Reglereinsatzes für die näherungsweise entkoppelte Zweigrößenregelung für Führungs- und Störautonomie wurde nachgewiesen. Die Entwurfs-, Projektierungs- und Realisierungsschritte beruhen auf bekannten ingenieurmäßigen Verfahren, und die erzielbare Regelgüte bei näherungsweiser Entkopplung durch PID-Regler entspricht den üblichen Anforderungen bei der Prozeßregelung.

Literatur

[1] *Weller, W.; Fuchs, H.:* Digitale Mehrkanalregler mit Mikroprozessoren. Impuls **19** (1979) H. 3, S. 90–98.

[2] *Weller, W.:* Anwendung der Mikroelektronik in der Prozeßautomatisierung. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.

[3] *Bergmann, S.; Radke, F.; Isermann, R.:* Ein universeller digitaler Regler mit Mikrorechner. Regelungstechnische Praxis **20** (1978) H. 10, S. 289 bis 294; H. 11, S. 322–325.

[4] *Schmidt, P.:* Einfaches Mikrorechnerbausteinsystem für regelungstechnische Anwendungen – ursamar 5000. msr **24** (1981) H. 5, S. 244–247.

[5] *Birnstiel, H.:* Zur Projektierung von Mehrgrößenregelungen. msr **21** (1978) H. 4, S. 209–214.

[6] *Kriesel, W.; Müller, G.; Chorchordin, A. W.:* Anlagenautomatisierung auf der Basis von Mikroprozeßrechnern. Wiss. Zeitschr. der TH Magdeburg **23** (1979) H. 3/4, S. 339–346.

[7] *Schwarz, H.:* Vorschläge zur Elimination von Kopplungen in Mehrfachregelkreisen. Teil I: Regelungstechnik **9** (1961) H. 11, S. 454–459. Teil II: Regelungstechnik **9** (1961) H. 12, S. 505–510.

[8] *Sponer, J.:* Zur Bemessung exakt entkoppelter und nichtentkoppelter Zweifachregelungen. msr **9** (1966) H. 12, S. 438–445.

[9] *Müller, R.:* Projektierung von Automatisierungsanlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.

[10] *Naumann, M.; Müller, R.:* Projektierung von Mehrgrößensystemen. msr **23** (1980) H. 7, S. 367–370.

[11] *Sadowski, H.; Sawatzky, J.:* Das neue Automatisierungssystem für verfahrenstechnische Anlagen. Wissenschaftlich-technische Informationen des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau **17** (1981) H. 1, S. 3–6.

msr 7548

Ing. *G. Frank*, Ing. *W. Krause*, Dipl.-Ing. *B. Schumann* und Dipl.-Ing. *E. Zemmrich*, Hennigsdorf[1])

Chargenverfolgung mit Mikrorechner in einem Walzwerk

IA 5.6.1.4.

0. Einleitung

0.1. Zielstellung der Chargenverfolgung

Für eine kontinuierliche Feinstahlstraße war ein automatisiertes System der Chargenverfolgung zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Anzahl der Chargenvermengungen reduziert wird und die am Walzprozeß Beteiligten über den Stand der Abarbeitung der Chargen und die Straßenleistung informiert werden.

0.2. Beschreibung der Walzstraße

Die Walzstraße (Bild 1) besteht aus 2 Walzlinien mit je einem Ofen, einer zweiadrigen Vorstaffel und 2 einadrigen Mittel- und Fertigstaffeln. Über eine Weiche kann jede Linie wahlweise auf das Kühlbett oder auf das zugehörige Wickelwerk (im weiteren Haspel genannt) fahren. Beim einadrigen Walzen erlaubt eine Kühlbettweiche das Fahren von Linie 1 auf Kühlbett 2 bzw. von Linie 2 auf Kühlbett 1. Eine Weiche nach der Mittelstaffel ermöglicht ebenfalls den Wechsel der Walzlinie auf die andere Fertigstaffel. Alle Weichen können nur von Hand gestellt werden.

Der Ofen 1 arbeitet über einen Quertransport auf den Doppelrollgang zur Vorstaffel. Im Rollgang anfallende Retourknüppel des Ofens 1 können nur durch Ofen 2 zurückgefahren werden. Jeder Ofen hat eine eigene Steuerbühne, von der aus das Ziehen der Knüppel und die Rollgangsabschnitte gesteuert werden. Von der Hauptsteuerbühne Straße aus erfolgt die Leitung der gesamten Straße, die operative stündliche Produktionsmeldung einschließlich der Erarbeitung des Schichtberichtes. Von den Steuerbühnen Haspel bzw. Kühlbett aus werden die entsprechenden Abschnitte bedient.

Da es etwa 90 verschiedene Varianten des Materialflusses von den Öfen zu den Adjustageeinrichtungen gibt und die Längenausdehnung der Straße etwa 450 m beträgt sowie durchschnittlich 4 Knüppel/Adern jede Linie belegen können, ist eine visuelle Stoffflußverfolgung schwer möglich.

0.3. Prämissen für den Entwurf des Systems

- Zeitechte Information der Steuerbühnenfahrer über den Abarbeitungsstand der jeweils laufenden Charge; Darstellung von Daten über die vorangegangene und nachfolgende Charge
- Verfügbarkeit des Systems größer 99%, bezogen auf die effektive Walzzeit
- Automatische Arbeitsweise des Systems
- Minimum an Bedienhandlungen und Systemunterstützung bei notwendigen Handeingaben

[1]) Mitteilung aus dem VEB Stahl- und Walzwerk „Wilhelm Florin" Hennigsdorf, Direktorat Forschung, Bereich Prozeßautomatisierung.

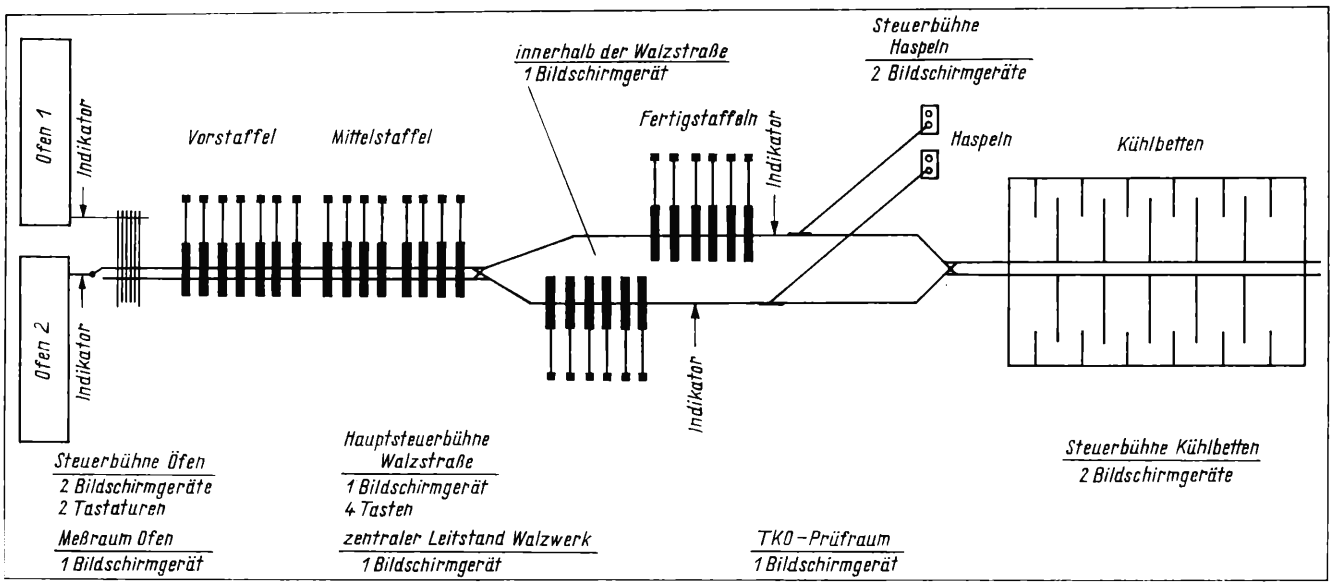


Bild 1. Schema der Walzstraße und die Ausgabe- und Eingabeelemente des Systems

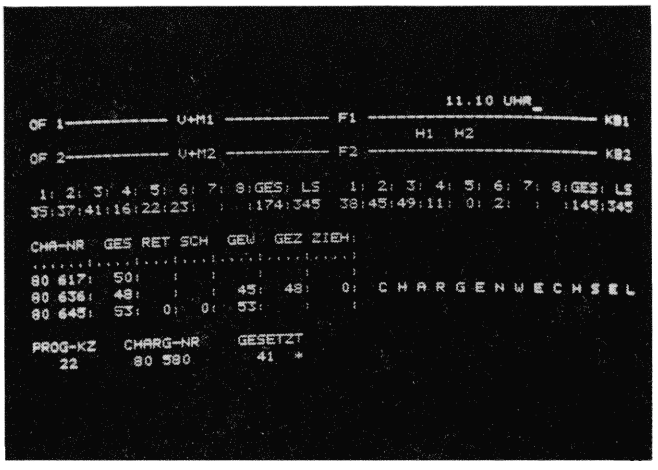


Bild 2. Informationsbild auf einer Steuerbühne Ofen

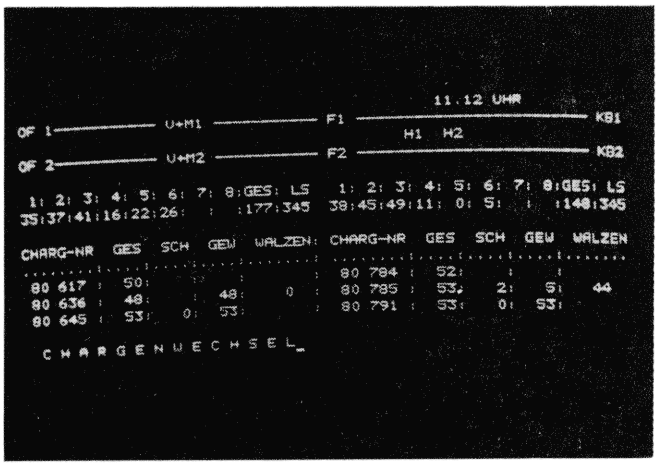


Bild 3. Informationsbild auf der Hauptsteuerbühne Walzstraße

- Aufbau einer Systemorganisation, die 95% der möglichen Varianten der Stoffflußverfolgung über die Straße ermöglicht
- Ausgabe spezifischer Informationen an die einzelnen Informationsempfänger
- Einfache Korrekturmöglichkeiten und automatischer Systemanlauf bei Spannungsausfall
- Einsatz moderner Mikroelektronik
- Modularer Systemaufbau, hohe Servicefreundlichkeit.

1. Funktionen des Systems

1.1. Grundkonzeption

Die Chargenverfolgung beginnt am Ofenaustrag und endet am Eingang der Adjustage. Im Rechner sind die Eingabedaten der laufenden Charge:

- Chargen-Nr.
- im Ofen gesetzte Knüppelzahl der Charge

eingespeichert und stehen als „noch zu ziehende Knüppelzahl" bzw. „noch zu walzende Aderzahl" zur Verfügung. Jedes Ziehen eines Knüppels wird durch einen am Ofenausgang installierten Indikator automatisch erfaßt und von der zu ziehenden Anzahl subtrahiert. Bei Erreichen des Wertes „Null" ist Chargenwechsel am Ofen. Das gleiche geschieht beim Abwalzen der Adern. Verläßt eine Walzader das letzte Gerüst einer Fertigstaffel, erfolgt durch ein Indikatorsignal automatisch eine Verringerung der Anzahl „noch zu walzende Adern". Beim Erreichen des Zustandes „noch zu walzende Aderzahl" = 0 signalisiert das System „Chargenwechsel" beim Materialempfänger in der Adjustage.

Die notwendigen Informationen zur Stoffflußverfolgung werden über manuelle Eingaben (Variante des Materialflusses, Chargendaten, Korrekturen) und über Indikatoren zur Verfügung gestellt. Parallel dazu erfolgt die Ermittlung der Stunden- und Schichtleistung. Sämtliche Informationsausgaben erfolgen über Bildschirme. Die für die Nutzung des Systems notwendigen Grundbilder auf den Bildschirmen werden beim Anlauf des Systems ausgegeben.

1.2. Informationsinhalte der Bildschirme

Auf den Bildschirmen der Steuerbühnen werden von oben nach unten ausgegeben (Bilder 2 bis 4):

- Uhrzeit
- Systembild mit der Darstellung des Materialflusses über die gesamte Straße
- Walzleistungstabelle
- Chargentabelle
- Eingabedaten einschließlich einer Formatierungszeile und Warntexten bei Fehleingaben; Signalisierung „CHARGENWECHSEL" oder „KEINE ZÄHLUNG" (Halt des Systems).

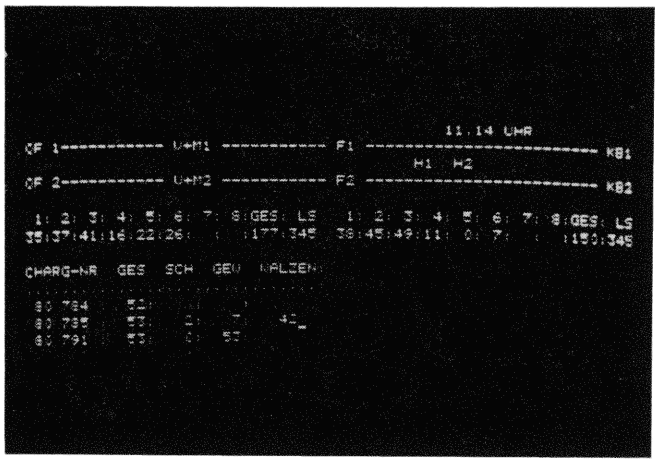


Bild 4. Informationsbild auf einer Steuerbühne Adjustage

Das Systembild enthält schematisch die für die Chargenverfolgung wichtigen technologischen Gruppen (Öfen [OF ...], Vor- und Mittelstaffeln [V + M ...], Fertigstaffeln [F ...], Haspeln [H ...] und Kühlbetten [KB ...]). Der Materialfluß ist durch Verbindungsstriche gekennzeichnet.
Die Walzleistungstabelle enthält die stündlichen Walzleistungen der laufenden Schicht, die aktuelle Summe der laufenden Schicht ([GES]) und die Walzleistung der vorangegangenen Schicht ([LS]). Die Chargentabelle enthält von oben nach unten die Daten der

- nachfolgenden Charge
- laufenden Charge
- abgeschlossenen Charge.

Die Bildschirminhalte auf den Steuerbühnen unterscheiden sich in den Daten der Chargentabelle und der Anordnung der Ausgabetexte. Nachstehend werden die Besonderheiten der Datenein- und -ausgabe auf den einzelnen Steuerbühnen beschrieben.

1.2.1. Steuerbühnen Ofen

Auf diesen Steuerbühnen erfolgen die Handeingaben für die zugehörigen Walzlinien. Damit nehmen diese Steuerbühnen die Schlüsselrolle im System ein. Die Tastatur einer Steuerbühne enthält:

- Zifferntasten 0 ... 9
- Funktionstasten zur Dateneingabe: LP, LZ, Q, EW, EC
- Funktionstasten zur Anwahl von Programmen ohne Dateneingabe.

Alle Programme werden über die Eingabe eines zweistelligen Programmkennzeichens erreicht — auch diejenigen, für die Funktionstasten zur Verfügung stehen. Die Tafel enthält das vollständige Programmverzeichnis. Bei Programmen mit Dateneingabe wird eine Formatierungszeile zur Unterstützung der ziffernweisen Eingabe ausgegeben.
Die Chargentabelle (Bild 2) enthält von links nach rechts die aktuellen Angaben je Charge:

- Chargennummer (letzte 5 Stellen) [CHA-NR]
- im Ofen gesetzte Knüppelzahl [GES]
- Anzahl Retourknüppel [RET]
- Anzahl Schrottknüppel und Schrottadern [SCH]
- abgewalzte Aderzahl [GEW]
- Anzahl gezogener Knüppel [GEZ]
- Anzahl noch zu ziehender Knüppel [ZIE].

Der Zustand „CHARGENWECHSEL“ am Ofen wird durch einen Text signalisiert. Der im Bild 2 dargestellte Inhalt bleibt erhalten, bis die letzte Ader der Charge abgewalzt wurde (Chargenwechsel gesamte Walzlinie). Danach wandern die Daten in der Tabelle um eine Zeile nach unten. Die in der Eingabezeile stehenden Chargendaten werden in die Zeile für die nachfolgende Charge übernommen. Das Ziehen — mit Erscheinen des Textes „CHARGENWECHSEL“ ausgesetzt — kann fortgesetzt werden.

1.2.2. Hauptsteuerbühne Walzstraße

Auf dieser Steuerbühne sind vier Tasten angeordnet:

- Handeingabe einer Schrottader (+1) für Linien 1 und 2
- Korrektur einer Schrottader (−1) für Linien 1 und 2.

Sie ermöglichen Eingaben zum aktuellen Chargenablauf. Eine automatische Erfassung findet nicht statt.
Der Bildschirm enthält neben Uhrzeit und Systembild die Chargentabelle mit den aktuellen Chargendaten für die Walzlinien 1 und 2. Die Tafel enthält von links nach rechts die Angaben je Charge (Bild 3):

- Chargen-Nr. (letzte 5 Stellen) [CHARG-NR]
- im Ofen gesetzte Knüppelzahl [GES]
- Anzahl der Schrottadern [SCH]
- Anzahl der abgewalzten Adern [GEW]
- Anzahl noch zu walzender Adern [WALZEN].

Bei Eingabe eines neuen Walzweges erfolgt eine Neuzuordnung der Chargendaten für die Walzlinie.

1.2.3. Steuerbühnen Adjustage (Kühlbett 1, 2 und Haspel 1, 2)

Auf diesen Steuerbühnen sind keine Eingabeelemente angeordnet, nur Bildschirmgeräte. Sie enthalten (Bild 4):

- das Systembild
- die Walzleistungstabelle
- die Chargentabelle mit den Chargendaten für dieses entsprechende Kühlbett bzw. dieser Haspel

1.2.4. Weitere Informationsempfänger

Das Bild der Hauptsteuerbühne wird zusätzlich auf Bildschirmgeräte im Fertigstaffelbereich für das Walzpersonal, in den TKO-Prüfraum und den zentralen Leitstand des Walzwerkes übertragen.

2. Software des Systems

Nach der Inbetriebnahme (Einschalten des Rechners oder Generallöschen) wird das System durch ein Anlaufprogramm in den Arbeitszustand gebracht. Dabei erfolgt die Programmierung der Rechner-Interfaces, das Sperren aller Eingaben (außer Tastatur-Eingaben) und die Ausgabe des Grundbildes auf alle Bildschirme. Erst nach Eingabe eines Walzweges und der Daten von mindestens einer Charge ist die Chargenverfolgung startfähig. Dann führen alle Aktivitäten der Peripherie zu einem prioritätsbewerteten Interrupt-Signal im Mikrorechner. Dieser verläßt daraufhin den dynamischen Stop und erreicht über ein Interrupt-Entschlüsselungsprogramm das jeweilige Applikationsprogramm. Nach Abarbeitung wird in den Wartezustand zurückgesprungen. Das Programmsystem arbeitet im bedingten Interruptbetrieb; d. h., über die Software wird die Unterbrechung des laufenden Programms verhindert. Die zeitlichen Anforderungen an das System erlauben diese Arbeitsweise. Die Abarbeitung einer Informationseingabe dauert etwa 500 ms einschließlich Datenausgabe. Längere Laufzeiten erreicht das Programm „Chargenwechsel“ mit etwa 50 s. Die Programme enthalten Verriegelungen, um eine Reihenfolge bestimmter Eingaben zu erzwingen, Fehlerausschriften mit Handlungsanweisungen bei Eingabefehlern und Verriegelungen gegen absichtliche und unabsichtliche Fehlbedienungen. Bei fehlenden Chargendaten geht das Programmsystem in den Halt-Zustand und kann erst nach Dateneingaben wieder gestartet werden. Alle Möglichkeiten des

Materialflusses über die Straße sind über die Eingabe einer 2-stelligen Kennziffer praktisch nicht zu realisieren. Deshalb wurde die stationsweise Eingabe des Materialflusses (Walzweges) vom Ofen über die Straße gewählt. Dieses Programm „Eingabe Walzweg" programmiert die Signalverarbeitung, die Anwahl der Bildschreiber der Adjustage und die Informationsausgabe. Die Chargendaten — auch die der laufenden Charge — sind durch Programm korrigierbar. Das Programmsystem belegt etwa 16 Kbyte ROM und 3/4 Kbyte RAM einschließlich Stack-Register. Die Tafel zeigt das vollständige Programmverzeichnis. Die Programmerarbeitung erfolgte anfangs mittels Cross-Software auf einem KRS 4201, später auf einem Entwicklungsplatz. Zur Programmtestung diente ein Monitorprogramm. Es ist nicht mehr Bestandteil des Systems. Die 8-bit-Breite des Rechnerwortes wird für Integer-Zahlen von 0 bis 255 genutzt. Chargen mit mehr als 255 Knüppeln werden bei der Eingabe in zwei

Tafel. Programmverzeichnis

Programme	Programmansprung durch Auslösung eines Interruptes durch Fotoindikatoren oder Tasten	durch Handeingabe über Tastatur Steuerbühne Ofen über Nr. PKZ	über Funktionstaste
Ziehen eines Knüppels	×	30	K
Korrektur eines zu viel gezählten Knüppels		31	
Eingabe Retourknüppel Ofen		34	RO
Korrektur Retourknüppel Ofen		35	
Eingabe Retourknüppel Rollgang		38	RR
Korrektur Retourknüppel Rollgang		39	
Walzen einer Ader Fertigstaffel 1	×	40	
Korrektur einer Ader Fertigstaffel 1		41	
Walzen einer Ader Fertigstaffel 2	×	42	
Korrektur einer Ader Fertigstaffel 2		43	
Eingabe Schrottader Bahn 1	×	46	
Korrektur Schrottader Bahn 1	×	47	
Eingabe Schrottader Bahn 2	×	48	
Korrektur Schrottader Bahn 2	×	49	
Minuten-Impuls	×		
Stunden-Impuls	×		
Start Chargenverfolgung		15	S
Halt Chargenverfolgung		17	H
Teilung Charge		55	PT
Chargenwechsel		50	CW
Eingabe Walzweg		10	EW
Eingabe Charge		22	EC
Korrektur laufende Charge		24	
Korrektur nachfolgende Charge		20	
Löschen angewähltes Programm (einschließlich eventuell bisher eingegebener Daten)			LP
Löschen letztes eingegebenes Zeichen (gültig für alle Eingabeprogramme)			LZ

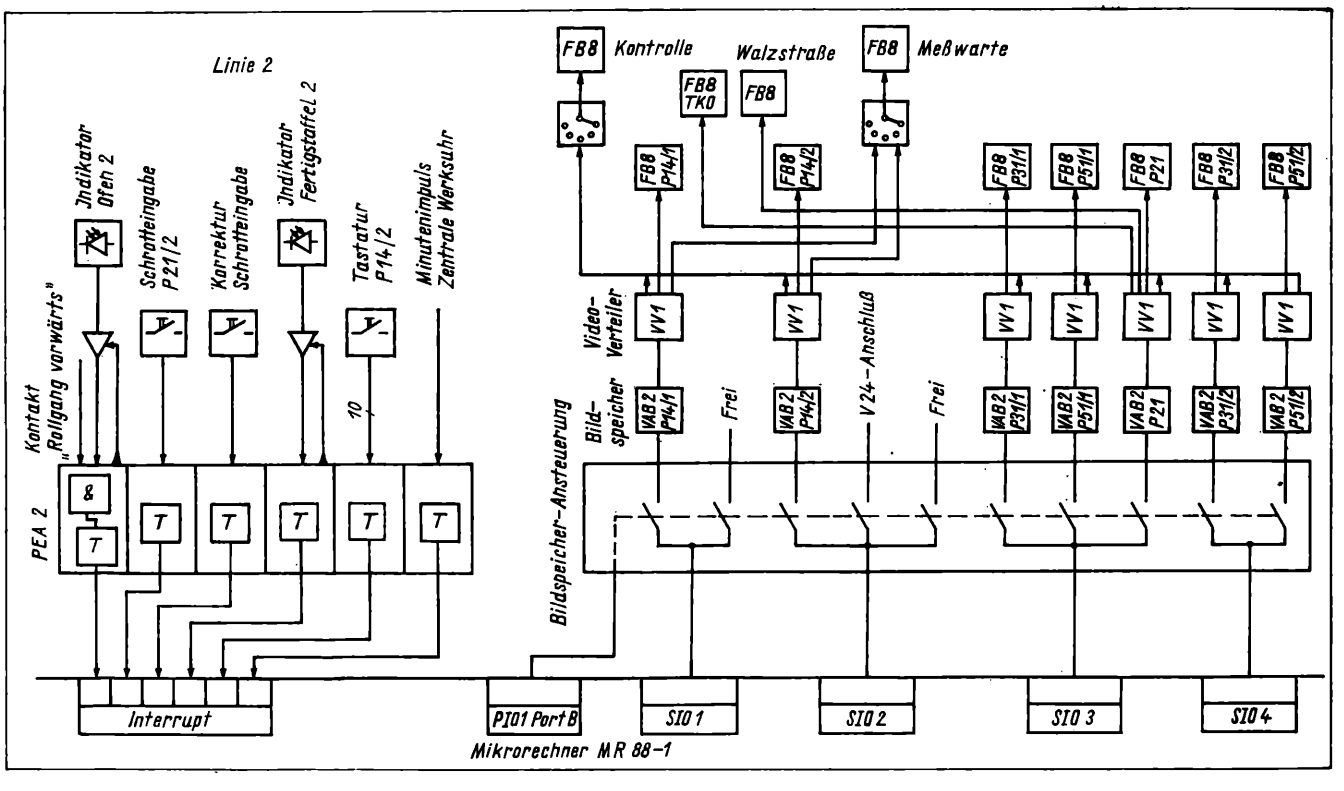


Bild 5. Hardware-Konfiguration (Linie 1 analog Linie 2)

Chargen gleicher Chargen-Nr. aufgeteilt. Damit ist die Einwortverarbeitung im Rechner möglich. Die Applikationsprogramme enthalten fast ausschließlich Organisationsaufgaben. Es werden nur Addition und Subtraktion benötigt.

3. Hardware des Systems

3.1. Konfiguration

Das beschriebene System enthält folgende Baugruppen (Bild 5):

- einen Mikrorechner MR 88/1
- 2 PEA-Einheiten
- 5 Bildspeicher mit Bildweiche sowie drei Videoverteilern
- 11 Bildschirmgeräte Typ FB 8
- 4 Indikatoren
- 2 Tastaturen
- 4 Tasten.

In der Testphase wurde diese Konfiguration durch ein weiteres Bildschirmgerät (Testmonitor) ergänzt.

3.2. Mikrorechner

Der eingesetzte Mikrorechner MR 88/1 ist bestückt mit CPU, 16 K EPROM, 2 K RAM, IT-Baustein, 3 PIO mit je 3 Port zu je 8 bit und 4 SIO.
Weitere Kennwerte sind 16-bit-Adreßwort, 8-bit-Datenwort, 8-bit-Arithmetik, 3 Doppelwortregister, 8-bit-Akkumulator, Befehlssatz mit 244 Befehlen, 1—3-byte-Befehle, Zykluszeit durchschnittlich 3,5 Mikrosekunden, verdrahteter Adreßraum 20 K.

3.3. Prozeßeingabe- und -ausgabeeinheit (PEA)

Alle Signalaus- und -eingänge werden bis auf die Bildschirminformationen über die PEA geführt. Jeder Walzlinie ist eine PEA zugeordnet. Dort erfolgt:

- die Anzeige der Signalzustände über LED
- die galvanische Entkopplung
- die Simulation der peripheren Signale
- die logische Verknüpfung von Signalen zur Interrupt-Bildung
- die Interrupt-Speicherung, -Sperrung und -Löschung
- die Analoganzeige der Indikatorsignale.

Die beiden PEA wurden mit Leiterplatten in TTL-Technik realisiert. Diese Form der Prozeßein- und -ausgabe erleichterte wesentlich den Hard- und Software-Test des Gesamtsystems.

3.4. Ausgabe der Bildschirminformationen

Der Mikrorechner gibt die Informationen für die 5 verschiedenen Bildschirminhalte im ASC-II-Kode über die vorhandenen vier SIO auf 5 Bildspeicher aus. Diese speichern die Information und wandeln sie in ein entsprechendes Videosignal um. Es können 128 alphanumerische Zeichen in 16 Zeilen zu je 64 Zeichen dargestellt werden. Die Übertragungsgeschwindigkeit beträgt 300 baud. Die galvanische Trennung wird mit Optokopplern erreicht. Die 5 verschiedenen Videosignale werden über Videoweiche und Videoverteiler VV 1, über Videokabel mit Kabellängen bis zu 500 m an die 11 Bildschirme in Übereinstimmung mit dem Materialfluß ausgegeben. Die erreichte Bildqualität ist gut.

3.5. Indikatoren

Die Walzgutindikatoren sind eine Eigenentwicklung. Sie arbeiten praktisch temperaturunabhängig.
Kennwerte:

- Mindesttemperatur des Walzgutes: 1170 K
- Walzgutabmessung:
  Knüppel: 100—115 mm Vierkant; Walzadern: minimaler Durchmesser 12 mm; Flachmaterial: minimale Höhe 4 mm
- keine Fremdkühlung
- Abstand zum Walzgut am Ofen bis 3,5 m, an den Fertigstaffeln bis 1,0 m
- Führung des Walzgutes im Indikatorbereich der Fertigstaffel durch Niederhalter.

3.6. Tastaturen

Für die Dateneingabe in das System standen Tastaturen aus Tischrechnern zur Verfügung. Sie erzeugen einen 2-aus-10-Kode. Eine LED-Anzeige in der Tastatur signalisiert die Eingabebereitschaft des Systems. Zum Abschluß werden Fernmeldekabel verwendet.

4. Aufwand und Effekte

Die Bearbeitungszeit betrug bis zur Aufnahme des Testbetriebes zwei Jahre. Die Einführung des Systems erfolgte über 60 Schichten im durchgehenden Schichtbetrieb und wurde in Form einer täglichen Kontrolle und Anleitung über 6 Monate fortgesetzt. Die Qualifizierung des Betriebspersonals umfaßte eine Einweisung in die Leistungsfähigkeit und Bedienung des Systems anhand einer ausführlichen Bedienungsanleitung. Parallel zur Betreuung wurden Erkenntnisse aus dem Versuchsbetrieb und Forderungen des Betreibers bzgl. Veränderungen und Erweiterungen des Systems eingearbeitet.
Der Gesamtaufwand betrug — bedingt durch den Ersteinsatz eines Prozeßrechners und die allmählich einsetzende materielle Absicherung — etwa 120 Mannmonate. Das Entwicklungskollektiv umfaßte durchschnittlich fünf Ingenieure. Die Betreuung wurde mit 1 bis 1,5 VbE abgesichert. Mit den vorliegenden Erfahrungen und bei voller materieller Absicherung wäre die Bearbeitungszeit mit 70 Mannmonaten zu kalkulieren (30% Hardware, 70% Software).
Die eingesetzte Gerätetechnik läuft seit zwei Jahren ohne wesentliche Ausfälle. Störungen traten bisher nur an den Bildschirmgeräten (etwa 2 Ausfälle im Jahr) und den Tastaturen durch Verschmutzung und Fremdeinwirkung auf. Die Wartung beschränkt sich auf die tägliche Überwachung des Signalpegels der Indikatoren und 14tägige Kontrollgänge mit Reinigung der Indikatoren. Für das System wurde eine Verfügbarkeit von 99,7% nachgewiesen.
Durch die hohe Leistungsfähigkeit des Systems, vor allem die zeitechte Sofortinformation über den Stofffluß und die hohe Zuverlässigkeit wandelten sich die anfänglichen Vorbehalte des Betriebspersonals gegen den Rechnereinsatz in eine bewußte Nutzung für die Produktionsorganisation. Die ökonomischen Effekte bestehen in der Verbesserung des Ausbringens durch die Verringerung von Chargenvermengungen. Die erreichte Rückflußdauer beträgt 4,25 Jahre.

Zusammenfassung

Seit Juni 1980 bewährt sich eine Anlage zur Chargenverfolgung im stabilen Dauerbetrieb. Der dafür eingesetzte Mikrorechner MR 88/1, die Bildschirmtechnik und die z. T. selbst entwickelte Peripherie arbeiten praktisch störungsfrei. Das Programmsystem gestattet die zeitechte Verfolgung des Stoffflusses und die Information des Betriebspersonals über den Abarbeitungsstand der zu walzenden Chargen. Die stündlichen Walzleistungen werden ausgewiesen. Die Chargendaten werden von Hand eingegeben, die Materialerfassung erfolgt über Indikatoren. Die konzipierten Effekte werden erreicht. msr 7574

Prof. Dr.-Ing. habil. *E. Habiger*, Dresden[1])

Programmierbare Steuerungen in den USA – eine Übersicht

IA 4.5.

0. Einleitung

Programmierbare Steuerungen (Programmable Controllers, PC's), anfangs nur dafür gedacht, Relaissteuerungen durch zuverlässigere und flexiblere Elektronik abzulösen, 1970 erstmals im US-Marktangebot, 1973 bereits zu 3000 Exemplaren in der metallbearbeitenden Industrie eingesetzt, 1980 mit einem Marktanteil von etwa 300 Mill. Dollar am Umsatzgeschehen beteiligt, haben heute in den USA mit Systemen von 8 bis 8000 binären Ein- und Ausgängen und anderen Leistungsparametern, die der gesamten Breite steuerungs- und regelungstechnischer Anforderungen genügen, ihren unbestritten festen Platz in der Automatisierungstechnik. Er wird im Rahmen des kapitalistischen Konkurrenzgeschehens durch laufende, neue Anwendungsfelder erschließende Innovationen, durch massierte Werbung in den einschlägigen Fachorganen, durch eine steigende Anzahl von PC-Produzenten sowie durch eine seit 10 Jahren im jährlichen Turnus durchgeführte Konferenz mit Ausstellung, die der Ein-

[1]) Mitteilung aus der TU Dresden, Sektion Elektrotechnik.
Der Beitrag entstand im Rahmen eines zwischen dem MHF und IREX vereinbarten Studienaufhaltes des Autors in den USA im Herbst 1981.

Tafel 1. Parameter neuerer Erzeugnisse US-amerikanischer PC-Hersteller (unter Verwendung von [4])
CRT Bildschirm; LED Leuchtdioden; LCD Flüssigkristallanzeige; 1 englische Sprache; 2 Basic; 3 integriertes Tasten-Programmierfeld

Hersteller	Steuerungstyp	Funktionen							Speicher				Ein-/Ausgabe						Programmierung				
		Zeitfunktionen	Verriegelungsfunktionen	Arithmetikfunktionen	Vergleichsfunktionen	Sprungfunktionen	Subroutinen	PID-Reglerfunktionen	Kernspeicher	EPROM, EAROM, RAM	maximale Speicherkapazität	minimale Speicherkapazität	binäre Eingänge	binäre Ausgänge	Wechselstrom-E/A	Gleichstrom-E/A	Analog-E/A	verteilter Aufbau	Kontaktplan	Boolesche Gleichungen	Programmiergerät	Display	Diagnostik	Band/Kassette
Allen-Bradley	PLC-2/20	●	●	●	●		●			●	8 K		256	256	●	●	●		●		●	CRT	●	●
	Mini-PLC-2	●	●		●					●	1 K	0,5 K	64	64	●	●	●		●		●	CRT	LED	●
	PLC-3	●	●	●	●	●	●	●		●	96 K		4 K	4 K	●	●	●	●	●		●	CRT	LED	●
Automation Systems	IMP	●	●		●	●				●	4 K	1 K	128	128	●	●	●		●		●			
Barber-Colman	MACO III B	●	●	●	●					●	1,5 K	0,5 K	160	160	●	●					●		●	
Cincinati-Milacron	Maxi Miser	●	●	●	●					●	4 K	1 K	512	256	●	●		●	●		●	CRT	●	●
Divelbiss	ICM	●	●		●	●				●	4K	0,5 K	4	4	●	●			●		●			
Dynage	MPC-8	●	●	●	●	●	●			●	24 K	0,5 K	1 K	1 K	●	●	●		●	●	●			
Eaton, Watertown	Curant System 6500	●	●		●		●			●					●	●				1				●
Eaton, Milwaukee	C-H D 120	●	●		●					●	1 K		200	200	●	●		●	●		●			
Eagle Signal	Eptak 700 Eptak 200	●	●	●	●	●	●	●	●	●	16 K		1K	1K	●	●	●	●	●		●	CRT	●	
General Numeric	GNSS-110	●	●		●					●	2 K	0,5 K	128	128	●	●			●	●	●	LED		
General Electric	60	●	●		●	●	●	●		●	2 K		256	256	●	●	●	●	●		●	CRT	●	●
	600	●	●		●	●	●	●		●	8 K		1K	1 K	●	●	●	●	●		●	CRT	●	●
	6000	●	●	●	●	●	●	●		●	32 K		2 K	2 K	●	●	●	●	●		●	CRT	●	●
Giddings & Lewis	PC 400	●	●	●	●	●	●	●		●	48 K	1K	1 K	1 K	●	●	●		●		●	CRT		●
Gould-Modicon	584	●	●	●	●	●	●	●	●	●	32 K	4 K	5 K	5 K	●	●	●	●	●		●	CRT	●	●
ISSC	ipc 300	●	●	●	●	●	●	●		●	16 K	8 K			●	●	●	●		2	●	CRT	●	●
Omron	Sysmac-MO	●	●		●					●	1 K	0,25 K	16	16	●	●			●	●	3	LED		
Reliance/Toledo	Auto Mate 35	●	●		●					●			1K	1K	●	●	●	●	●	●	●	CRT		
Square D	Clase 8881	●	●	●	●	●	●	●	●		32 K	4 K	1 K	1 K	●	●	●	●	●	●	●	CRT		
	SY/Max-20	●	●	●	●	●				●	2 K	1 K	256	256	●	●			●		●	CRT		●
Struthers-Dunn	Director 4001	●	●		●					●	4 K	1 K	1 K	1 K	●	●	●		●		●	CRT	●	
Texas Instruments	PM 510	●	●		●					●	0,25 K		12	8	●	●			●		●	LCD	●	
Westinghouse	PC 900	●	●	●	●					●	1,5 K	0,25 K	128	128	●	●		●	●		●	CRT	●	
	PC 700	●	●	●	●					●	8 K	1 K	256	256	●	●		●	●		●	CRT	●	

führung neuer Erzeugnisse des PC-Sektors sowie der Verbreitung applikativer Erfahrungen dient, ständig weiter ausgebaut. Im folgenden wird ohne Anspruch auf Vollständigkeit eine Übersicht über Eigenschaften und Besonderheiten programmierbarer Steuerungen US-amerikanischer Hersteller gegeben. Darüber hinaus werden neue Anwendungsgebiete und sich abzeichnende Tendenzen beschrieben.

1. Gerätetechnik

Wie auf dem westeuropäischen Markt (vgl. z. B. [1]) ist auch bei den in letzter Zeit von US-Firmen innovierten PC's der deutliche Trend zu kleinen, robusten und billigen Steuerungen einerseits sowie zu großen leistungsfähigen Systemen mit prozeßrechnerähnlichen Eigenschaften andererseits nicht zu verkennen.

Der starke Trend, insbesondere zu den kleinsten Einheiten (Anzahl der binären Ein- und Ausgänge $\leqq 50$), ist darin begründet [2], daß etwa 80% der möglichen PC-Anwendungen durch solche Systeme abgedeckt werden können, der diesbezügliche Sättigungsgrad jedoch erst zu 15 bis 20% ausgeschöpft ist. Während noch vor wenigen Jahren die Preise für solche Systeme zwischen 500 und 1000 Dollar lagen, zu hoch, um mit elektromechanischen Lösungen zu konkurrieren, sind heute PC-Kleinstausführungen verfügbar, die vier bis sechs Relais oder einen Schaltwalzenprogrammgeber ökonomisch vertretbar ersetzen.

Der Durchbruch zu solchen Steuerungssystemen ist im wesentlichen gelungen:

- durch die Anwendung der CMOS-Technik (geringer Stromverbrauch, keine hohen Anforderungen in bezug auf Spannungskonstanz, dadurch vereinfachte Netzteile)
- durch den Einsatz von Ein-Chip-1-bit-Prozessoren (z. B. Motorola Schaltkreis MC 14500 B)
- durch die Kompaktausführung des mechanischen Aufbaus, der in diesem Leistungsbereich den Gesamtpreis der Steuerung maßgeblich bestimmt.

Typische Beispiele für solche Kleinststeuerungen sind (Tafel 1):

- das Modell 510 von Texas-Instruments, dessen Basiseinheit (12 Eingänge/8 Ausgänge) sich mit 450 Dollar im Angebot befindet. Das sind 50 Dollar weniger als eine vergleichbare Relaissteuerung mit vier neutralen Relais und einem Zeitrelais bzw. 150 Dollar weniger, als eine entsprechende Steuerung mit Schaltwalzenprogrammzeitgeber kostet
- das System ICM der Divelbiss Corporation, dessen Grundeinheit (4 Eingänge/4 Ausgänge) für 384 Dollar angeboten wird.

Die technischen Parameter solcher Kleinststeuerungen liegen etwa in den in der Tafel 2 angegebenen Grenzen. Sie sind als Einprozessorsysteme ausgeführt und haben einen ROM-, EPROM- oder batteriegepufferten RAM-Speicher für das Anwenderprogramm. Ihr Applikationsfeld liegt im Bereich der einfachen zeit- oder prozeßgeführten Maschinen- bzw. Anlagensteuerungen, wie sie z. B. für die Automatisierung von Lochpressen, Bohrmaschinen, Verpackungsmaschinen, kleinen Industrierobotern, Schweißmaschinen, Aufzügen, Pumpen, Montagebändern, Prüfeinrichtungen, Palettieranlagen und ähnlichen Einrichtungen in großer Zahl benötigt werden.

Die PC-Innovationen im oberen Leistungsbereich zeichnen sich dadurch aus, daß sie neben Logik-, Zeit- und Zählfunktionen Digitalwert-, Analogwert-, Interrupt- und Textverarbeitung zulassen. Sie sind damit sowohl für die Lösung steuerungs- und regelungstechnischer Aufgaben sowie für die Prozeßüberwachung, Meßwertverarbeitung und unter Nutzung einer Echtzeituhr auch für die Betriebs- und Störwertprotokollierung einsetzbar. Von herkömmlichen Prozeßrechnern unterscheiden sie sich nur durch den der industriellen Umgebung angepaßten robusten und störsicheren Aufbau, der auch unter rauhen Einsatzbedingungen die erforderliche Betriebszuverlässigkeit gewährleistet, sowie durch einfache Projektierbarkeit und Programmierbarkeit, die in der Regel keine EDV-Programmierkenntnisse bei den Anwendern voraussetzt.

Typische Beispiele für Steuerungen dieses Leistungsbereichs sind das Modell PLC3 von Allen Bradley und das Modell 584 von Gould-Modicon (Tafel 1).

Die Prozessoren solcher Systeme sind in Bitslice-Technik oder als Zweiprozessorsysteme (1-bit- und Wortprozessor) oder als Mehrprozessorsysteme ausgeführt. Als Programmspeicher werden EPROM's, gepufferte RAM's mit Überbrückungszeiten bis zu einem Jahr und in steigendem Maße EAROM's (Electrically Alterable ROM's) verwendet. Der mechanische Aufbau ist in der Regel in 19-Zoll-Einschubtechnik realisiert, der eine modulare Erweiterbarkeit mit 2, 4, 8, 16 oder 32 Ein- oder Ausgängen je Modul erlaubt. Bezüglich weiterer typischer Parameter und Eigenschaften siehe Tafel 2. Über die verschiedenen Möglichkeiten, PID-Algorithmen zu verarbeiten, gibt [3] eine gute Übersicht.

Von einer Reihe von Steuerungsherstellern werden Gerätefamilien angeboten, die der gesamten Breite automatisierungstechnischer Anforderungen genügen und deren Komponenten sowohl hardwaremäßig als auch softwaremäßig zueinander kompatibel sind.

Viele Steuerungssysteme lassen einen räumlich verteilten Aufbau mit je nach Bedarf sternförmiger oder linienförmiger (oder auch gemischter) Gruppierung der Eingabe- und Ausgabe-Baugruppen um die Zentraleinheit zu (Tafel 1), was bei räumlich weit ausgedehnten Steuerobjekten (Aufzüge, Förderbandanlagen, Papiermaschinen, Abwasserbehandlungsanlagen, Gebäudeüberwachungssysteme u. ä.) zu erhöhter Übersichtlichkeit und zu beträchtlichen Einsparungen in bezug auf den Verkabelungsaufwand führt. Die maximale Entfernung bis zur CPU kann dabei bis zu 5000 m betragen, wobei für die Signalübertragung im Nahbereich (100-m-Bereich) in der Regel ein Parallelbussystem und im Weitstreckenbereich (1000-m-Bereich) in der

Tafel 2. Typische Eigenschaften programmierbarer Steuerungen (PC's)

	Eigenschaften	kleine PC's	mittlere und große PC's
Parameterrichtwerte	Anzahl der binären Ein- und Ausgänge	8 ... 64	64 ... 8000
	Speicherkapazität	0,25 ... 4 K Worte	4 ... 96 K Worte
	Zykluszeit	1 ... 5 ms/1 K Worte	1 ... 75 ms/ 1 K Worte
	Anzahl der Anweisungen	5 ... 20	bis 40
	Verarbeitungseinheit	Einprozessorsysteme	Zwei- und Mehrprozessorsysteme
	Zähler und Zeitstufen	8 ... 32	bis 4000
	interne binäre Speicher	bis 128	bis 4000
realisierbare Funktionen	kombinatorische Funktionen	×	×
	Ablaufsteuerfunktionen	×	×
	Zähl- und Zeitfunktionen	×	×
	Arithmetikfunktionen	×	×
	Zahlenwertvergleiche	×	×
	Interruptverarbeitung	–	×
	Analogwertverarbeitung	–	×
	Textverarbeitung	–	×
mechanischer Aufbau	konstruktive Ausführung	robuste Kompaktgeräte ohne Lüfter mit leicht zugänglichen Schraubanschlüssen für die Eingangs- und Ausgangssignalleitungen	modularer Rahmen- oder Schrankaufbau
	räumliche Anordnung der Steuerungsbaugruppen	zentraler Aufbau mit sternförmiger Verkabelung zu den Stellgliedern und Gebern	zentralisierter und räumlich verteilter Aufbau möglich

Regel ein Serienbussystem, in manchen Fällen bereits auf Lichtleiterbasis, verwendet wird. Die dabei durch die Parallel-Serien- und Serien-Parallel-Umsetzung zustandekommende Vergrößerung der Reaktionszeit liegt in der Größenordnung einer Zykluszeit der Steuerung. Bild 1 zeigt als Beispiel zwei unterschiedliche Konfigurationen des Systems Series Six von General Electric. Das System besteht aus 3 unterschiedlichen CPU's und einzelnen gleichartigen Gestelleinheiten mit eigener Stromversorgung und je 11 Plätzen für die Eingabe/Ausgabe-Module EA sowie für Treiberstufen T, D oder Empfängerstufen R, Q, mit deren Hilfe je nach Bedarf die unterschiedlichsten geometrischen Systemkonfigurationen realisiert werden können. Eine CPU kann direkt bis zu 10 Gestelleinheiten mit je 80 binären Ein- oder Ausgängen versorgen, die bis zu 15 m im Umkreis um die CPU angeordnet sind. Jede Treiberstufe T kann bis zu 10 solcher Einheiten in 150 m Entfernung betreiben, die auf der Empfangsseite im Radius von 15 m installiert sein können, und mit Hilfe einer Treiberstufe D können über ein 4-Draht-Verbindungskabel über eine Entfernung bis zu 3600 m insgesamt 128 binäre Eingänge und 128 binäre Ausgänge an das Steuerungssystem angeschlossen werden.

Bild 2 zeigt als weiteres Beispiel die Struktur des 7200 REMOTE Control Systems der Control Junction, Inc. Es erlaubt, über einen Feldbus bis zu 256 binäre Eingänge und Ausgänge einzeln oder in Gruppen über eine Länge bis zu 800 m zu verteilen.

Immer wiederkehrende Werbeschlagzeilen für alle PC-Systeme, die indirekt die Zielrichtungen der Entwickler erkennen lassen, sind:

- Eignung für starkstromnahen Einsatz
- Möglichkeit des verteilten Aufbaus
- leichte anwenderorientierte Projektierung, Montage und Handhabung
- Programmierung ohne EDV-Kenntnisse möglich
- Baugruppenprogrammierung möglich
- Bereitstellung von PC-Bibliotheks-Organisations-Software
- Statusanzeige der Ein- und Ausgänge
- Selbstüberwachung und Eigendiagnose
- Leichte Überprüfbarkeit der wichtigsten Systemfunktionen
- Schnelle Auffindung und Behebung von Fehlern
- Aufwärtskompatibilität der Hard- und Software innerhalb von Systemfamilien
- Computerinterface
- 24-Stunden-Service
- 5 Jahre Garantie.

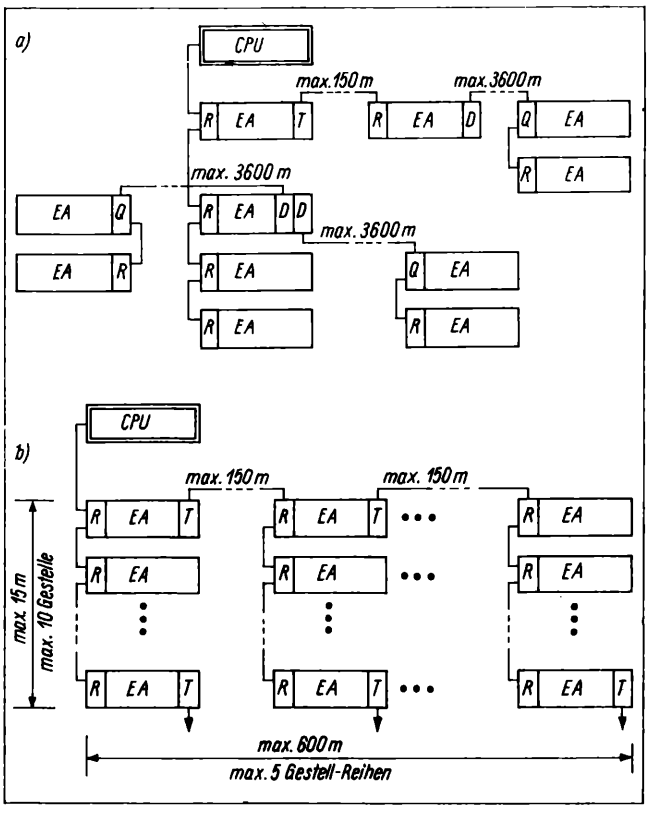


Bild 1. Baugruppen der PC-Familie Series Six in zwei verschiedenen räumlichen Konfigurationen [5]

CPU Zentrale Verarbeitungseinheit; EA Eingabe/Ausgabe-Module (maximal 10 Module mit je 8 binären Ein- oder Ausgängen); T Treiberstufe; R Empfängerstufe für den Nahbereich (maximal 150 m); D Treiberstufe; Q Empfängerstufe für den Fernbereich (maximal 3600 m)

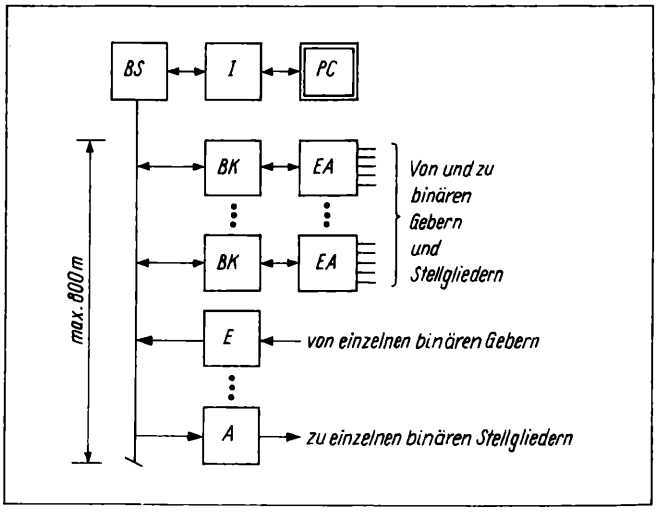
2. Programmiertechnik

Hier stehen das Streben nach anwendergerechter rationeller Programmerstellung, effektiver Programmtestung, -erprobung und -dokumentation absolut im Vordergrund. Während kleine und mittlere PC-Systeme fast ausschließlich unter Zugrundelegung des Kontaktplans programmiert werden (Ausnahmen findet man bei kleinen PC's, die Schaltwalzenprogrammzeitgeber ersetzen; hier wird als Ausgangspunkt für die Programmierung eine Zeitplan-Matrixkarte benutzt oder das Programm auch direkt in englischer Sprache eingegeben), sind größere Systeme in der Regel zweisprachig, z. B. für die Programmierung mit Kontaktplan und Boolschen Gleichungen oder auch für die Programmierung mit einer anwenderorientierten, die Prozeßbelange berücksichtigenden Symbolsprache (Basic) ausgelegt. Baugruppenprogrammierung ist in der Regel möglich, d. h., auf der Basis der Kontaktplansprachebene können Schließer- und Öffnerfunktionen, Haftrelais- und Wischrelaisfunktionen, Zählfunktionen 4- oder 5stellig vorwärts und rückwärts (Bild 3a), Zeitfunktionen 4- oder 5stellig (Bild 3b) und bei Analogwertverarbeitung auch PID-Reglerfunktionen direkt programmiert werden. Die Baugruppen werden im Programm aufgerufen und lediglich parametriert (Definition der Eingänge, Ausgänge und Parameterzahlenwerte), ohne daß der Programmierer mit der Handhabung der oftmals komplizierten Detailstruktur der Baugruppe belastet wird. On-line- und Off-line-Programmierung sind möglich.

Portable Programmiergeräte ohne Bildschirm haben Taschenrechnergröße (hand-held-programmer) und liegen im Preisbereich von 300 bis 900 Dollar. Bildschirmgeräte sind in der Regel mit

Bild 2. Grundstruktur des 7200 REMOTE Control Systems

PC Programmierbare Steuerung (Texas Instruments Sequenzer), I Interface; BS Bussteuerung; BK Buskoppeleinheit; EA Eingabe/Ausgabe-Einheit; E Busanschluß für einzelne binäre Geber; A Busanschluß für einzelne binäre Stellglieder



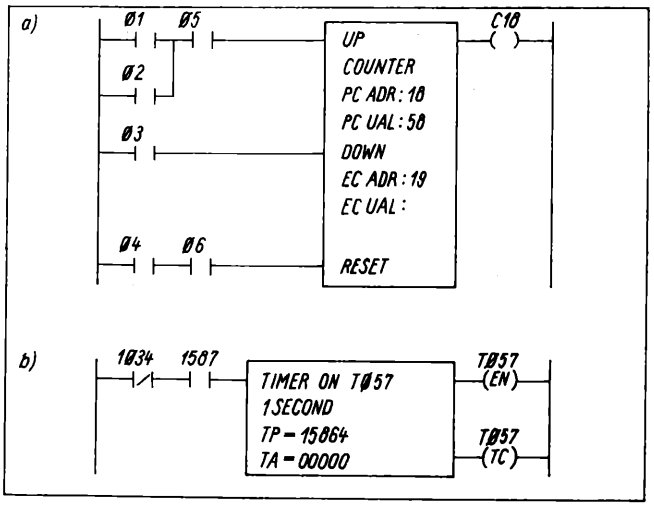


Bild 3. Baugruppenprogrammierung in der Kontaktplandarstellung
a) Zähler; b) Zeitgeber

einem 12-Zoll-Schirm (Grafik-Display) ausgerüstet. In manchen Fällen ist das Programmiergerät Bestandteil des Grundgeräts einer Steuerung (built-in programmer). Mit der Programmierung schritthaltende Dokumentation auf magnetischen Datenträgern oder auf Listenausdrucken sowie die Bereitstellung von Querverweislisten gehören mit zum Leistungsumfang der Programmiergerätetechnik. In vielen Fällen wird im Programm zur Kennzeichnung der Ein- und Ausgänge der Steuerung Klartext verwendet. Dadurch wird z. B. die Fehlersuche ohne die zusätzliche Verwendung von Kodelisten ermöglicht.

3. Neue Anwendungsgebiete

Über die nunmehr schon als klassisch zu bezeichnende Aufgabenstellung hinaus, Relaissysteme durch Elektronik abzulösen, zeichnen sich für programmierbare Steuerungen eine Reihe neuer Anwendungsgebiete ab: erstens, im Bereich sehr kleiner zeit- und prozeßgeführter Ablaufsteuerungen, in großem Umfang die Ablösung von Schaltwalzenprogrammgebern, zweitens, in komplexen Produktionsanlagen, die Einbeziehung von PC's in Data-Highway-systems [6], wodurch eine Kommunikation einzelner PC's untereinander sowie zu übergeordneten Computern ermöglicht wird, drittens, ihre Ausführung und Anwendung für Steuerungsaufgaben, an die erhöhte Sicherheitsanforderungen geknüpft sind (vgl. hierzu auch [7] bis [10]), und viertens, ihr Einsatz zur Fehlerdiagnose in Anlagen und Maschinensystemen [11] und [12].

Die letztgenannte interessante Anwendung dient der Zielstellung, störungsbedingte Stillstandszeiten in Produktionsanlagen dadurch zu reduzieren, daß Fehlerursachen, z. B. ein fehlerhafter Geber, im On-line-Verfahren, automatisch erkannt und das Wartungspersonal schnell und sicher zum Fehlerort geleitet werden. Die programmierbare Steuerung wird dazu so installiert und programmiert, daß sie gewissermaßen im Sinne eines Teach-in-Verfahrens bei normal laufendem Prozeß in der Lage ist, den richtigen Ablauf, gekennzeichnet durch eine definierte Aufeinanderfolge von Prozeßzuständen, die jeweils durch bestimmte Geber ausgelöst werden und jeweils eine definierte Zeit andauern, zu registrieren. Im Störungsfall, z. B. Fehler in der Schrittreihenfolge, Taktzeitüber- oder -unterschreitungen, wird dieses Prozeßablaufmodell als Vergleichsnormal für die automatische Auffindung der Störungsursache verwendet. Störungsort und Störungsursache werden dem Wartungspersonal über ein Graphikdisplay angezeigt. Die Handhabung von Fehlerkodelisten entfällt.

4. Ausblick

Wesentliche Grundlage für die Weiterentwicklungen auf der Hardwareseite programmierbarer Steuerungen ist das dafür verfügbare Bauelementeaufkommen. Geht man davon aus, daß gegenwärtig in den USA 8-, 16- und 32-bit-Mikroprozessoren sowie zahlreiche Spezialprozessoren, u. a. ein auf die programmierbare Steuerungstechnik zugeschnittener 1-bit- und Wortprozessor auf einem Chip (Intel 8051 [13]) zur Verfügung stehen und darüber hinaus 64-Kbit-RAM's, dynamisch, mit Zugriffszeiten von 100 ... 400 µs, 16-Kbit-RAM's, statisch, mit Zugriffszeiten von 40 ... 150 µs, 16-Kbyte-EPROM's mit 75 ... 150 µs Zugriffszeit (und darunter), 2-Kbyte-EAROM's (Electrically Alterable ROM's) mit 250 µs Zugriffszeit und 10 ms Löschzeit (gegenüber 20 min bei den UV-löschbaren EPROM'S) sowie 128-K-, 256-K-, 512-K- und 1-Mega-byte-Bubble-Speicher auf einer Karte mit Zugriffszeiten zwischen 4 ... 40 ms zum Stande der Technik gehören, und zieht man des weiteren in Betracht, daß die Entwicklung auf diesem Gebiet immer noch kontinuierlich in dem Sinne verläuft, daß der nächstgrößere Bauelementetyp gewissermaßen planmäßig bei spezifisch sinkender Preistendenz erwartet werden kann, daß ferner die Lichtleitertechnik weit fortgeschritten ist, so wird klar, daß der oben ausgewiesene Stand der PC-Technik nur ein Durchgangsstadium zu PC-Systemen darstellt, die ein Mehr an Steuerungsfunktionen auf kleinerem Raum, mit weniger Energieaufwand, flexibler, robuster, störsicherer, übersichtlicher, handhabungsfreundlicher und insgesamt billiger bereitzustellen in der Lage sind.

Da mit sinkenden Hardwareaufwendungen die Projektierungs- und Programmierungskosten zunehmend die Gesamtaufwendungen für eine PC-Applikation bestimmen, ist, dadurch stimuliert, auch mit weiteren Anstrengungen zur Verbesserung der gesamten Softwarestrecke, d. h. der Problemerfassung, der Programmerstellung, -testung und -dokumentation zu rechnen.

Dabei dominiert ganz klar das Ziel, immer breiteren Nutzerkreisen mit möglichst wenig Schulungsaufwand den effektiven Einsatz leistungsfähiger Computertechnik zur Lösung von Steuerungsaufgaben zu ermöglichen.

Literatur

[1] *Vits, K.:* INTERKAMA 80: Geräte und Systeme für elektronische Steuerungen. Regelungstechnische Praxis 23 (1981) H. 4, S. 122–131.

[2] *Ledgerwood, B. K.:* Trends in Control. Control Engineering (1981) March, p. 156.

[3] *Morris, H. M.:* Implementing PID in PCs. Control Engineering (1981) October, pp. 88–90.

[4] *Andreiev, N.:* PC '81: Roundup. Control Engineering (1981) February, pp. 50–55.

[5] *Pluhar, K.:* Discrete Manufacturing Gets New PC Systems, Distributed Control. Control Engineering (1980) September, pp. 123–126.

[6] *Bruce, S. A.:* Data Highway links Control Equipment of Any Number of Different Manufacturers. Control Engineering (1981) July, pp. 87–90.

[7] *Knörnschild, E.:* Speicherprogrammierbare Steuerungen für den sicherheitstechnischen Einsatz – Anforderungen und Prüfungen. Regelungstechnische Praxis 23 (1981) H. 8, S. 268–280.

[8] *Jülly, U.:* Konzept speicherprogrammierbarer Steuerungen für Sicherheitsfunktionen. Regelungstechnische Praxis 23 (1981) H. 8, S. 281–284.

[9] *Euringer, M.:* Eine speicherprogrammierbare Steuerung für Überwachungs- und Sicherheitsfunktionen. Regelungstechnische Praxis 23 (1981) H. 8, S. 285–292.

[10] *Benedetto, J. A.:* Preventing Operational Errors in Programmable Controllers. Control Engineering (1981) July, pp. 136–142.

[11] *Cherba, D. M.:* Programming PC's to Detect Faults in Machines or Processes. Control Engineering (1981) February, pp. 57–60.

[12] *Kompass, E. J.:* Volkswagen Uses Programmable Controllers For On-line Machine Diagnosis. Control Engineering (1981) February, p. 61.

[13] *Koehler, P.:* Boolean Processors is key to Single-Chip Programmable Controller. Control Engineering (1981) January, pp. 138–146.

msr 7604

Programmierbare nichtnumerische Steuerungen (XVIII)[1)]

Dr.-Ing. *G. Roland*, Karl-Marx-Stadt

Programmierbares Steuerungs- und Baugruppensystem PS 2000

IA 1.1.1.2.; 2.4.1.1.

Die Projektierung ist eine Wiederholung des Programmteiles Vorprojektierung, allerdings unter Einbeziehung der Zwischenspeicher. Durch geeignete Sortieralgorithmen werden Listen für die Fertigung und die Endprüfung gewonnen. Außerdem entstehen Lochbänder für das Rangierverteilerverdrahtungsgerät sowie zur weiteren Verwendung auf der EDV-Anlage. Der Programmteil Programmaufbereitung übernimmt die Kodierung der Programmdaten sowie eine bauelementeorientierte Gliederung des Gesamtprogrammes. Weitere Sortieralgorithmen sichern die Entstehung von Belegen für die Programmspeicherkartenbaugruppenprüfung und die Inbetriebnahme.
Hervorzuheben ist die Adressenreferenzliste mit ihren alphanumerisch geordneten problemorientierten Adreßteilen und der Angabe aller Wortadressen, in denen diese enthalten sind. Darüber hinaus entstehen die Lochbänder für die Programmierung aller EPROM's und die Lochbänder zur Prüfung der bestückten Programmspeicherkartenbaugruppen.
Beim Hersteller dienen die Ergebnisse der Projektierung als Grundlage des Fertigungsprozesses zur Herstellung von problemabhängigen Erzeugnissen PS 2000. Der Anwender bestückt die ihm vorliegende problemunabhängige Steuerung entsprechend der Projektierungsergebnisse mit Peripheriebaugruppen und programmiert mit den bereitgestellten Lochbändern die EPROM's.

4. Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme hat den Funktionsnachweis des koordinierten Zusammenwirkens aller vorgeprüften Prozeßelemente zu erbringen. Für das Prozeßelement PS 2000 bzw. PS 2000/1 gelten folgende Bedingungen:

- Bereitstellung einer problemabhängig projektierten Steuerung
  bei Lieferung der Steuerung als Rahmenaufbau PS 2000 oder
- Baugruppe PS 2000/1 muß diese Bauform vor der Inbetriebnahme in einem geeigneten Gefäß montiert werden
- Bereitstellung der Geräte für die Inbetriebnahme (Serviceeinheit, Prüfadapter, Inbetriebnahmegerät und Programmiergerät)
- Bereitstellung des problemabhängigen Programmes für den Programmspeicher
- Bereitstellung der problemabhängigen Dokumentation einschließlich Fehlersuchanleitung.

Der flexible Inbetriebnahmeprozeß ist ein wesentliches Merkmal einer programmierbaren Steuerung. Einfache und anschauliche Methoden zur Programmkorrektur bilden die Voraussetzung zur breiten Anwendung eines Erzeugnisses. Dabei sind bei der Wahl der Darstellung des Programmspeicherinhaltes sowohl historisch gewachsene Symbole (Kontakte, logische Symbole) als auch aus systematischen Entwurfsverfahren entstehende Boolsche Elemente zu berücksichtigen. Die programmierbaren Steuerungen PS 2000 bzw. PS 2000/1 verwenden eine Operationssymbolik, die diesen Forderungen gerecht wird.
Die Inbetriebnahme beider Steuerungstypen wird völlig gleichartig und unter Verwendung einer einheitlichen Gerätetechnik durchgeführt. Sie ist vom Steuerungsanwender durchzuführen, in Ausnahmefällen gewährt der Hersteller Unterstützung. Die Qualifizierungslehrgänge des Steuerungsherstellers vermitteln umfassende Kenntnisse für diese Arbeitsgänge.
Neben dem käuflichen Erwerb der notwendigen Geräte besteht auch die Möglichkeit des Ausleihens. Dieses Verfahren sichert auch bei Einzelanwendungen einen ökonomischen Inbetriebnahmeprozeß.

4.1. Geräte zur Inbetriebnahme

Die für die Inbetriebnahme notwendigen Geräte Serviceeinheit und Prüfadapter wurden in Abschn. 1. erläutert. In Abhängigkeit von der Anzahl der eingesetzten Peripheriebaugruppen werden für die Dauer der Inbetriebnahme minimal zwei, maximal etwa zehn Prüfadapter benötigt.
Außerdem sind das Inbetriebnahmegerät IBG 2000 und das Programmiergerät erforderlich. Das zuletzt genannte Gerät stellt der VEB Funkwerk Erfurt her, alle anderen genannten Geräte produziert der Steuerungshersteller selbst.

4.1.1. Inbetriebnahmegerät IBG 2000

Dieses Gerät dient der Testung von problemorientierten Programmen für die programmierbaren Steuerungen PS 2000 bzw. PS 2000/1. Bei Anwendung seines Schreib-Lese-Speichers (RAM) mit einer Kapazität von 1024 Worten können Programme neu erstellt bzw. vorhandene geändert werden. Das Inbetriebnahmegerät ist nur bei Kopplung mit der Steuerung PS 2000 bzw. PS 2000/1 funktionsfähig. Dazu sind der Programmspeicher der Steuerung in dem Inbetriebnahmegerät anzuordnen und beide Einrichtungen mit der zugehörigen Verbindungsleitung elektrisch zu koppeln.
Zwei Betriebsarten stehen für das Beschreiben des RAM zur Verfügung:

- wortweise Eingabe über Tastatur

  In dieser Betriebsart nimmt der Inbetriebnehmende eine manuelle Eingabe der Daten des Programmbeleges vor.

- automatische Übernahme von EPROM-Daten

  Unter der Voraussetzung, daß das zu testende Programm bereits in Form programmierter EPROMS vorliegt, kann durch geeignete Adressierung ein beliebiger Speicherbereich der EPROMs (maximal 1024 Worte) automatisch in den RAM übernommen werden.

Durch geeignete Wahl der Sprung- und Rücksprungadressen kann die Steuerung sowohl den RAM als auch die EPROMs adressieren. Damit steht während des Inbetriebnahmeprozesses eine Kombination beider Speicher als Programmspeicher zur Verfügung.
Neben den Bedienfunktionen gewährleistet das Inbetriebnahmegerät die Anzeige des Programmspeicherinhaltes, des Zustandes der Variablen sowie mehrerer interner Register.
Bild 60 zeigt das Inbetriebnahmegerät IBG 2000 mit eingesetzten Programmspeicherbaugruppen. Der Steuerungshersteller stellt für dieses Gerät eine umfangreiche Bedienanleitung zur Verfügung.

4.1.2. Programmiergerät

Das Gerät dient zur Programmierung und Löschung von EPROM-Speicherbauelementen mit einer Speicherkapazität von 8 × 256 bit.

(1 Teil XVII erschien im Heft 6/1982.

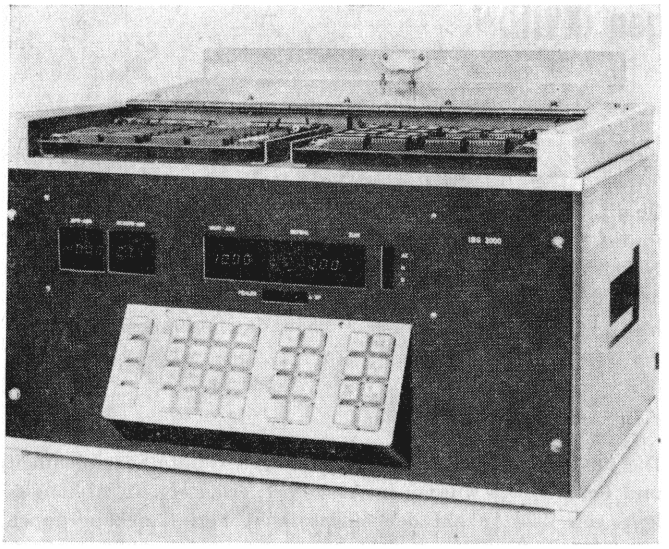


Bild 60. Inbetriebnahmegerät IBG 2000

Es wurde für folgende Typen konzipiert:

PROM U 551	PROM MM 4203	PROM MF 1602
EPROM U 552	PROM MM 5203	EPROM MF 1702
	EPROM MM 5203 Q	EPROM MF 1702 A

Alle Typen sind wahlweise so programmierbar, daß ihr Einsatz innerhalb einer Positivlogik (z. B. TTL-Schaltung) oder einer Negativlogik (z. B. MOS-Hochvoltschaltung) erfolgen kann. Während die Bauelemente U 551, U 552 und MF 1702 A wortweise mit einem Programmierimpuls beaufschlagt werden und dieser Zyklus 32 mal wiederholt wird, erfolgt die Programmierung der übrigen Typen durch 32 Programmierimpulse unmittelbar nacheinander für jedes Wort, und dieser Zyklus wird für alle Worte wiederholt. Nach erfolgter Programmierung führt das Gerät einen Vergleich zwischen den Eingabedaten und den im EPROM gespeicherten Werten aus und bildet bei Differenzen ein Fehlersignal. Die unterschiedliche Periodendauer der Programmierimpulse für die Typen U 551, U 552 sowie MF 1702 A und für die übrigen Typen führt zu Programmierzeiten von etwa 100 s bzw. 1200 s.

Die Arbeitsweise des Programmiergerätes läßt sich in vier wesentliche Funktionsblöcke gliedern:

- Informationseingabe und -speicherung
- Programmierung des Festwertspeichers
- Datenprüfung
- Sonderfunktionen.

Die Informationseingabe kann über die Tastatur, den Lochstreifenleser, durch ein bereits programmiertes Bauelement über die Duplizierfassung oder durch Datenübermittlung vom Inbetriebnahmegerät IBG 2000 zum Steckverbinder DUPEX erfolgen. Die für die EPROM-Programmierung der Steuerungen PS 2000 bzw. PS 2000/1 typische Art ist die durch Kopplung mit dem Inbetriebnahmegerät IBG 2000. Es sind die Festwertspeichertypen U 552 oder MF 1702 A zu programmieren.

Das Programmiergerät verfügt über folgende Sonderfunktionen, die in einigen Fällen der Datenprüfung dienen:

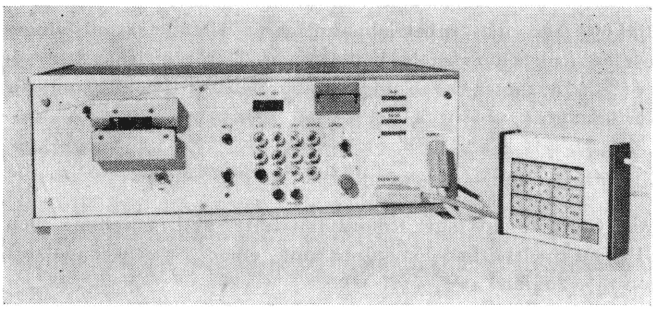


Bild 61. Programmiergerät

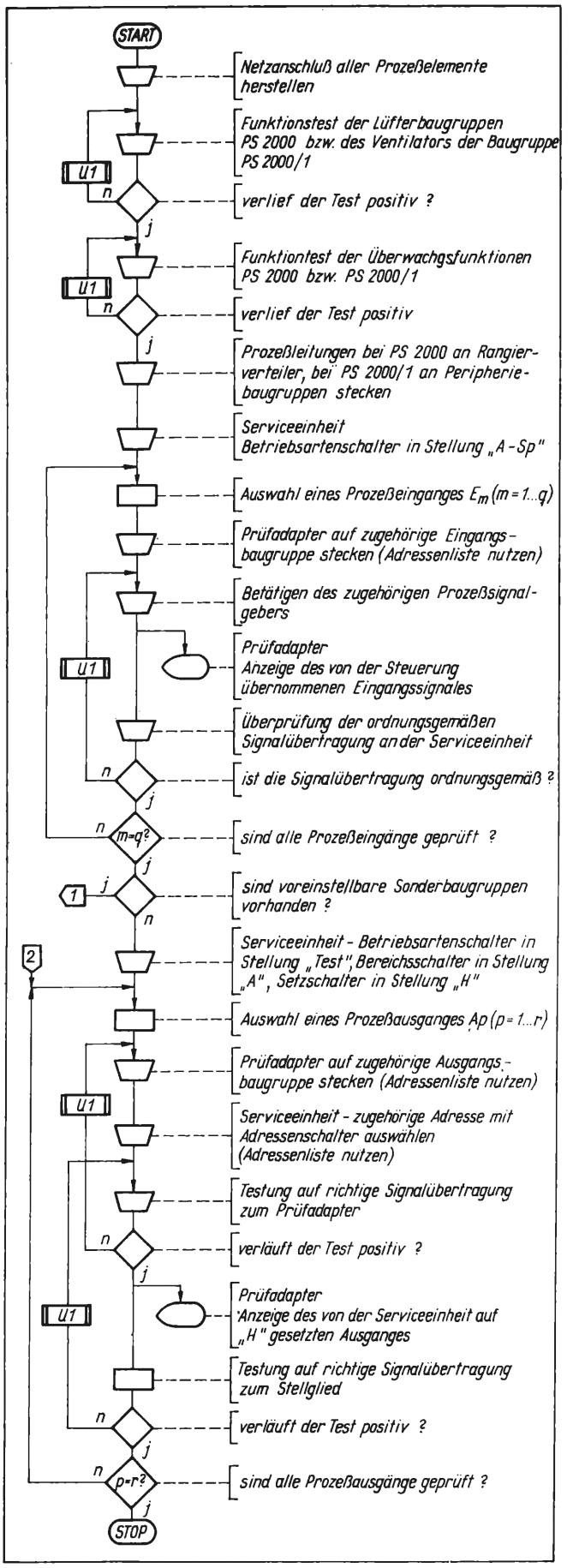


Bild 62. Hardwareinbetriebnahme/Teil 1

U 1 Fehlersuche nach Fehlersuchanleitung

- UV-Strahler zur Löschung der Daten von EPROM-Schaltkreisen
- Auslesen von Festwertspeicherinhalten, beginnend von einer wählbaren Anfangsadresse
- Vergleichslesen von Festwertspeicherinhalten mit dem Inhalt des Eingabespeichers; bei negativem Vergleichsergebnis werden Fehler sowie fehlerhafte Adresse einschließlich Daten angezeigt. (Ein spezieller Fall des Vergleichslesens ist die Leerkontrolle von Festwertspeichern vor Beginn des Programmiervorganges. Bei negativem Vergleichsergebnis ist die Löschung der EPROM-Schaltkreise notwendig.)
- Zieladresseneinrichtung zur Dateneingabe bis zu einer vorgegebenen Adresse.

Für das Programmiergerät liefert der VEB Funkwerk Erfurt eine umfassende Bedienanleitung. Bild 61 zeigt das Programmiergerät einschließlich der steckbar angeordneten Tastatur.

4.2. Hardwareinbetriebnahme

Dieser Teil der Inbetriebnahme dient dem Nachweis der ordnungsgemäßen Verdrahtung der Prozeßelemente untereinander. Die wichtigsten Geräte sind der Prüfadapter und die Serviceeinheit, als Unterlagen werden die Adressenliste und die Fehlersuchanleitung benötigt. Der Programmspeicher kommt während dieses Arbeitsganges nicht zum Einsatz. Der notwendige Arbeitsablauf ist in den Bildern 62 und 63 dargestellt. Sind die erforderlichen Arbeitsschritte ausgeführt, dann ist die gesamte mit der PS 2000 bzw. PS 2000/1 korrespondierende Prozeßinstallation getestet.

msr 7177 (wird fortgesetzt)

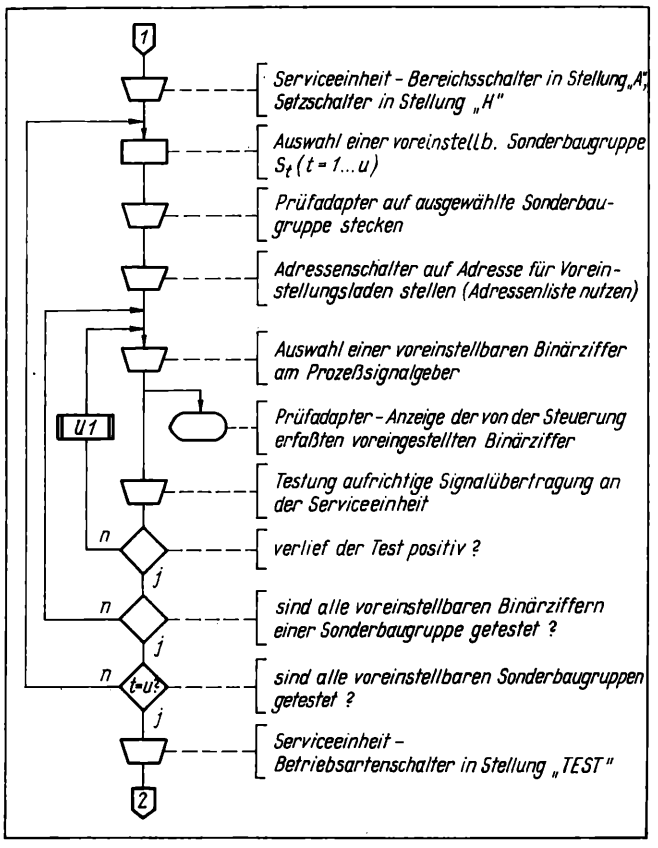


Bild 63. Hardwareinbetriebnahme/Teil 2
U 1 Fehlersuche nach Fehlersuchanleitung

msr KURZBEITRAG

Bildschirmterminal verbessert Prozeßführung

In den letzten Jahren wird der Entwicklung und dem Einsatz automatisierter Steuerungssysteme (ASUTP) in komplexen technologischen Anlagen und Produktionslinien große Aufmerksamkeit gewidmet.

Innerhalb des ASUTP nimmt der Operator als denkendes Individuum zweifellos die zentrale Stellung ein. Er muß in der Lage sein, vom Prozeßrechner bzw. anderweitig vorgegebene Steuerempfehlungen am Prozeß zu realisieren. Er muß auftretende Störungen erkennen und diesen mit sinnvollen Aktionen entgegenwirken. Die Qualität seiner Tätigkeit bestimmt in hohem Maße die Zuverlässigkeit der Mensch-Maschine-Kommunikation und damit auch die Zuverlässigkeit des ASUTP insgesamt.

Im Gegensatz zu Bauelementen und technischen Systemen sind alle quantitativen und qualitativen Charakteristika des Operators emotionalen Einflüssen unterworfen. Dabei spielt neben seinem aktuellen physisch-psychologischen Zustand die Zuverlässigkeit der Technik im weitesten Sinne selbst eine große Rolle. Fehler und Ausfälle im technischen System stören nicht nur direkt die Mensch-Maschine-Kommunikation, sondern schaffen zusätzliche Schwierigkeiten für eine zielgerichtete Tätigkeit des Operators, wirken psychologisch auf ihn ein und verschlechtern damit die Arbeitskennlinien des vom Menschen gebildeten Teilsystems.

Gleiche Schlußfolgerungen können gezogen werden, wenn die Automatisierungstechnik bezüglich der Informationsausgabe (Art und Weise der Darstellung, Genauigkeit usw.) und dem Bedienkomfort den bestehenden Anforderungen nicht entspricht. Wichtigste Kriterien für die Tätigkeit des Operators sind Rechtzeitigkeit und Genauigkeit seiner Handlungen. Die Reaktionszeit des Operators charakterisiert als quantitativer Kennwert die Geschwindigkeit, mit der die einzelnen, vom zentralen Nervensystem des Menschen gesteuerten Prozesse bei der Lösung der gestellten Aufgabe ablaufen. Sie hängt vom physischen und psychologischen Zustand des Menschen ab, wird jedoch gleichzeitig von seinem Verhältnis zur gestellten Aufgabe sowie persönlichen Eigenschaften und Besonderheiten beeinflußt.

Zur Erfüllung der ihm gestellten Aufgaben muß der Operator mit seinen Handlungen nicht nur zeitlichen, sondern auch bestimmten Genauigkeitsforderungen genügen. Die Genauigkeit stellt einen Qualitätsparameter der Operatorhandlung dar; sie zeigt, in welchem Maße es dem Operator gelingt, den technologischen Prozeß in Übereinstimmung mit den Steuerempfehlungen des Prozeßrechners bzw. der Betriebsanweisung zu steuern. Aus Untersuchungen der Arbeitspsychologie ist bekannt, daß der Operator die innere Organisation seines Arbeitsprozesses nach den ihm auferlegten Beschränkungen entsprechend opti-

miert und dadurch die jeweils notwendige Genauigkeit für die Lösung der ihm gestellten Aufgabe erzielt.
Im Zusammenhang mit der Realisierung einer ersten Ausbaustufe eines ASUTP im Olefinkomplex des VEB Kombinatsbetrieb „Otto Grotewohl" Böhlen wurde der Nachweis erbracht, daß vor allem folgende zwei Faktoren Einfluß auf die Operatorgenauigkeit haben:

- Grad der Wichtigkeit der jeweiligen Operatorhandlung (wirkt auf die innere Organisation der Operatortätigkeit)
- Form der Informationsdarstellung.

In einer Anlage zur thermischen Spaltung von Kohlenwasserstoffen wurde das aus konventioneller BMSR-Technik und zwei gekoppelten PRS 4000 bestehende Automatisierungssystem um ein freiprogrammierbares Bildschirmterminal erweitert. Bedingt durch zeitvariante Anlagencharakteristika und andere Störgrößen hat der Operator die Aufgabe, in Übereinstimmung mit der von Prozeßrechner ermittelten optimalen Fahrweise der Anlage sowie nach Anweisung des Schichtingenieurs die Steuergrößen durch Sollwertverstellung an einer Vielzahl konventioneller Regler nachzuführen. Die Auswirkungen der Steuereingriffe konnte das Schichtpersonal bis zum Einsatz des Bildschirmterminals nur an analogen Anzeigeinstrumenten mit relativ grober Skalierung beobachten.
Das wiederum hatte zur Folge, daß Reglereinstellungen nur ungenau vorgenommen wurden, da kleinere Differenzen zum Vorgabewert praktisch nicht erkennbar waren. Der Anschluß eines alphanumerischen Bildschirmterminals an die prozeßgekoppelten PRS 4000 und seine Aufstellung in der zentralen Meßwarte beeinflußte in einem nicht erwarteten Ausmaß die Psychologie des Schichtpersonals. Die Möglichkeit, jederzeit problemlos beliebige Prozeßinformationen mit hoher Genauigkeit ausgeben zu können, wirkte sich bei allen Anlagenfahrern stimulierend aus. Im Verlaufe des nunmehr 10monatigen Einsatzzeitraumes konnte festgestellt werden, daß Sollwertverstellungen bedeutend exakter vorgenommen werden. Die Kontrollmöglichkeit über das Bildschirmgerät wird stabil genutzt. Darüber hinaus wurde beim Schichtpersonal ein erhöhtes Interesse an der Prozeßführung insgesamt beobachtet. So werden Abweichungen vom optimalen Prozeßregime schneller erkannt und konsequenter kompensiert.
Mit Einsatz des Bildschirmgerätes konnte eine Steigerung der Prozeßeffektivität in Höhe von 1 Mill. Mark nachgewiesen werden.

Charakteristika des Bildschirmterminals:

Gerätetechnisch besteht das Bildschirmterminal aus einem handelsüblichen Schwarz/weiß-Fernsehgerät mit 63er Bildröhre und einem Mikrorechner K 1510.

Das Terminal ist modular konzipiert und kann problemlos vom alphanumerischen Schwarz/weiß-Display zum grafischen Farbdisplay aufgerüstet werden. Folgende Module stehen zur Verfügung:

Modul Steuerung:	Steuerung des Bildwiederholspeichers und der Bildausgabe
Modul Multiplexer:	Adreßumschaltung bei Einschreiboperationen
Modul Farbaufbau:	Farbsteuerung und Erzeugung von Negativschrift sowie Blinken.

Alle weiteren Module sind K 1510-Baugruppen. Bei der im VEB Kombinatsbetrieb „Otto Grotewohl" Böhlen eingesetzten Konfiguration handelt es sich um ein quasigraphisches Display mit 32 Zeilen à 64 Zeichen. Der Zeichengenerator hat eine Kapazität von 256 unterschiedlichen Zeichen.

Der Terminalrechner K 1510 ist über eine ASF-AS2-Koppelstrecke mit den PRS 4000 verbunden. Über die Koppelstrecke werden nur die aktuellen Prozeßinformationen bzw. in dem R 4000 berechnete oder aufbereitete Prozeß- und Bilanzdaten übertragen. Die für den Aufbau einer Bildstruktur bzw. eines Protokolls benötigten Hintergrundbilder sind im EPROM-Speicher des K 1510 enthalten.

Der Speicherplatzbedarf für alle Steuerprogramme, den Zeichengenerator und eine Maske für die Uhrzeiteinblendung beträgt etwa 3 Kbyte, für jedes Hintergrundbild etwa 1 Kbyte. Eine bestimmte Stelle des Bildschirmes ist für Fehlermeldungen bzw. Ausschriften im Dialogverkehr reserviert. Dort erscheint auch nach Anforderung die aktuelle Uhrzeit.

Gegenwärtig existieren für die Ausgabe von Prozeß- und Bilanzdaten etwa 70 verschiedene Protokolle. An der Erweiterung und Vervollkommnung der Informationsausgabe wird gearbeitet. Dabei wird vorrangig folgenden Problemen Aufmerksamkeit gewidmet:

- Informationsdarstellung in 7 Farbstufen
- zeitabhängige Darstellung von Prozeßgrößen
- Einbeziehung externer Massenspeicher (z. B. Magnetbandkassetten) für das Abspeichern von Hintergrundbildern.

msr 7629 Prof. Dr. sc. techn. *D. Balzer*, Dr.-Ing. *B. Böhme*, TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen; Ing. *R. Dehner*, Doz. Dr. rer. nat. *W. Schwarz*, VEB PCK Schwedt, Kombinatsbetrieb „Otto Grotewohl" Böhlen

Prospektmaterial

über die Literatur des VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

fordern Sie bitte bei Ihrem Fachbuchhändler an.

IMEKO-Symposium „TECHNICAL DIAGNOSTICS"

Ende November 1981 fand in London dieses Internationale IMEKO-Symposium unter Leitung von *G. C. Knight* statt. Es wurde von der IFAC, IFIP, The Institute of Acoustics, The Institution of Civil Engineers und The Institution of Electrical Engineers unterstützt und hatte den Charakter einer mehrtägigen Spezialistentagung mit Teilnehmern aus 15 Ländern. In vier Sektionen wurden ausschließlich Plenarvorträge gehalten.

Sektion 1: Analytische Methoden der Schadensfrüherkennung

Leitung: Prof. *Parchomenko*/UdSSR und Prof. *Dawson*/GB

R. M. Henry und *G. Aghadassi*, Universität Bratford/GB, berichteten über die Anwendung von abgeschnittenen (clipped) Signalen für On-line-Überwachung und Schadenserkennung an Prozeßeinrichtungen.

Ihren Untersuchungen liegt zugrunde, daß von kontinuierlichen Signalen über einen Nulldurchgangsindikator lediglich die Nulldurchgänge erfaßt und mit einem Mikroprozessor auf der Basis des Intel 8085 verarbeitet werden.

Aus der Diskussion war zu entnehmen, daß diesem Verfahren keine anspruchsvolle theoretische Analyse zugrunde liegt. Unterschiedlichste Signale wurden von einer sehr leistungsfähigen Prüfapparatur mit Display und Printer verarbeitet und angezeigt. Aus dem Vergleich unterschiedlicher Ausdrucke wurden dann bei Berücksichtigung bekannter Schadensfälle vergleichende Betrachtungen angestellt.

C. C. Tan und *B. Dawson*/GB beschrieben ein Verfahren der adaptiven Störunterdrückung bei der Untersuchung von Schadensfällen an Kugellagern mit Hilfe von Schwingungsmessungen. Das offene Kugellager wurde auf der Antriebswelle eines Elektromotors befestigt, an seinem Außenring mit einer Masse belastet und über je einen Schwingungsaufnehmer am Kugellager und am Motorgehäuse in seinen Laufeigenschaften überprüft. Die Informationsverarbeitung erfolgte durch Registrierung des Schwingungsverlaufs auf Magnetbandgerät UHER, Typ 4200, Untersetzung der Real-time-Aufnahme 1:8 plus 1:8 und Verarbeitung der Signale in einem pdp 11/40 Minicomputer mit graphischem Display Tektronix 4010-1 und Drucker Tektronix 4361.

B. Dubuisson/Universität Compiegne, Frankreich, berichtete über die Analyse von Schadensfällen an Kernreaktoren. Er arbeitete heraus, daß diese sehr komplexen Systeme anteilig nur dadurch zu überwachen seien, daß Betriebszustände langfristig in Form von Spektralanalysen registriert und miteinander verglichen werden. Dieses Vergleichen erfolgt durch Rechner. Stellen sich Abweichungen der Spektren in einzelnen Punkten heraus, so ist an einen Schaden zu denken. Das Problem der Schadensdiagnose durch Rechner hat folgende Schwachstelle: Der Rechner ist normalerweise nicht in der Lage, Schadensfälle von veränderten Betriebsbedingungen, die keinen Schadensfall darstellen, zu unterscheiden. *B. Dubuisson* berichtete deshalb über ein Verfahren zur Klassifikation mit linearen Diskriminatoren, durch das Schadensfälle von veränderten Betriebszuständen unterschieden werden können.

D. Hofmann/Friedrich-Schiller-Universität Jena faßte in seinem Vortrag meßtheoretische Aspekte der gegenwärtigen und zukünftigen Entwicklung der technischen Diagnostik zusammen. Er betonte, daß gegenwärtig der exakten Beschreibung der in der technischen Diagnostik angewendeten Untersuchungsmethoden und verwendeten Gerätetechnik größere Bedeutung zukommt als der ständigen Suche nach neuen Geräten und Verfahren. Technische Diagnostik, als ihrem Wesen nach mehrdimensionale Meßtechnik, muß schrittweise aus dem Zustand der Zeichenerkennung in den Zustand der metrologisch gesicherten Meßinformationsgewinnung überführt werden. Dazu ist erforderlich, die von einzelnen Autoren und Institutionen eingeführten partikulären Standards zu metrologischen Standards weiterzuentwickeln. An zahlreichen praktischen Beispielen wurden erste Überlegungen zur Lösung dieser komplizierten Aufgaben demonstriert.

J. Mc Connell und *G. Abdelhamid*, Iowa State University/USA, berichteten über spektralanalytische Methoden für nichtstationäre Prozeßmessungen. Untersuchungsgegenstände waren die Vorderachsen von PKW, die über Straßen unterschiedlicher Qualität geführt wurden. Die prinzipiell nichtstationären Prozesse wurden als Überlagerungen statistischer stationärer Prozesse betrachtet.

An praktischen Beispielen wurde gezeigt, wie durch Parameterschätzung stationärer Prozesse, durch Signalverarbeitung auf leistungsfähigen Rechnern und geeigneter digitaler Filterung Nutz- und Störsignale voneinander getrennt werden können.

Sektion 2: Spezielle Methoden

Leitung: Dipl.-Ing. *Kozak*/ČSSR und Dr. *Sharpe*/GB

P. Huttunen/Technical Research Centre of Finnland berichtete über einen neuen Ultraschall-Masse- oder Volumenstrommesser. Zwei piezoelektrische Aktoren und Sensoren werden im Abstand D außen auf den Strömungskanälen befestigt. Die Ultraschallstrahlen durchdringen das bewegte Meßmedium. Über zwei Empfänger werden die Ausgangssignale erfaßt und in einem Korrelator verglichen.

Die verwendete Ultraschallfrequenz beträgt etwa 1 MHz. Sie ist mit einer Dreieckswelle von 1 kHz mit Schwankungen um ± 50 kHz moduliert, um stehende Wellen in den Rohren zu vermeiden. Der Abstand zwischen den Maxima der Kreuzkorrelationsfunktionen der Signale ist ein Maß für die Strömungsgeschwindigkeit des Mediums. Die Informationsverarbeitung und die Steuerung der Geräte erfolgt mit einem Mikroprozessor.

Der von *D. P. Anderson*/Foxboro Massachusetts, USA, eingereichte Vortrag zur ferrografischen Analyse wurde von *G. W. Smith* von der Telcalemit Electronics LTD/Plymouth Devon, GB, vorgetragen. Es handelte sich um die Vorstellung eines neuen digitalisierten Meßgerätes von Foxboro. Aus dem Abrieb von Metallteilchen, die sich im Kühl- oder Schmiermittelstrom befinden, werden Rückschlüsse auf die Abnutzung von Lagern und Zahnrädern diagnostiziert.

E. D. Yardley vom National Coal Board Mining Research und Development Establishment Burton on Trent/GB untersuchte das Einlauf- und Abnutzungsverhalten von Getrieben für 90-kW-Fördermaschinen auf der Basis von ferrografischer und spektrografischer Ölanalyse.

Die spektrografische Analyse ist etwas empfindlicher und gibt Veränderungen früher an als die ferrografische Methode. Die Versuchsapparatur für die ferrografische Methode ist einfacher. Bei beiden Verfahren ist nachteilig, daß Ölproben aus dem Getriebe entnommen werden müssen und die Ergebnisse der Analyse stark vom Ort der Probennahme abhängen. Der robuste Betrieb stellt an die zu verwendende Meßgerätetechnik sehr hohe Anforderungen. Abschließende Entscheidungen für den Einsatz in der britischen Kohlenindustrie wurden noch nicht getroffen.

T. M. Hunt vom Hydraulischen Antriebszentrum der Universität von Bath/GB gab einen Überblick über die Diagnostik von hydraulischen Antriebssystemen, bevorzugt für Handhabe- und Robotertechnik.

Es kommt darauf an, zu einem frühen Zeitpunkt zwischen Abnutzung und Schadensfall zu unterscheiden. *T. M. Hunt* stellte in seinem Beitrag zusammen, wie Druck, Durchfluß, Temperatur, Schwingungs- und Zusammensetzungssensoren zur Diagnose von Schadensfällen beitragen können (Einzelheiten siehe Volltext des Vortrages).

Sektion 3: Rechneranwendungen in der Technischen Diagnostik

Leitung: Dr. *Hlavicka*/ČSSR und Dr. *Skipp*/GB

Der einleitende Vortrag von *J. Hlavicka*, Vorsitzender der Zentralen Arbeitsgruppe für Diagnostik elektronischer Systeme der tschechischen wissenschaftlich-technischen Gesellschaft, Prag, gab einen Überblick über moderne Diagnosemethoden in Multiprozessorsystemen. Dabei ging es um Kriterien für die Diagnostizierbarkeit von Systemen, den Entwurf von Diagnosesystemen und die Formulierung der Diagnosealgorithmen. Er unterschied symmetrische und unsymmetrische Schadensmodelle und im Zusammenhang damit zwei Verfahren zur Fehleranalyse. Die Diskussion ergab, daß die von ihm vorgeschlagenen Verfahren bisher noch nicht angewendet wurden.

G. Frugone und *G. Boccassi* von Ansaldo-Division Automation Genova/Italien berichteten über ausgewählte Erfahrungen bei der Entwicklung eines rechnergesteuerten Testsystems für die Produktions- und Funktionskontrolle von Fernmeßgeräten.

Die Vorträge beider Autoren hatten zum Ziel, die Eignung des Mikrorechners Ansaldo-MIG 17 für die Testung des Ansaldo TO 10 Fernmeßsystems zu demonstrieren.

E. S. Teh vom Institute of Science and Technology der University of Wales, Cardiff/GB, behandelte die Ergebnisse der mikrorechnergestützten Diagnose von elektromechanischen Taktgebern für Waschmaschinen. Das Kontrollsystem arbeitet mit einem Intel 8080A-Mikroprozessor. Die Testanlage ist aus 33 Teststationen aufgebaut, die unabhängig voneinander auch bei unterschiedlichen Startpositionen alle Waschzyklen automatisch im 24 Stunden-7 Tage/Woche-Betrieb durchlaufen können. Insgesamt sind je Waschmaschinentaktgeber 45 unterschiedliche Betriebszustände zu untersuchen.

C. Morgan und *D. R. Towill*, ebenfalls von der University of Wales, Cardiff/GB, berichteten über die Empfindlichkeitsanalyse im Frequenzbereich als Hilfsmittel bei der Diagnose von Flugsystemen.

Es erfolgt eine komplexe Frequenzanalyse des Systems mit Ermittlung der Pole und Nullstellen, anschließend intensivierte Untersuchung nur in der Umgebung der Pole und Nullstellen und Einbeziehung der digitalen Simulation zur Mustererkennung.

G. Teunis, Forschungs- und Entwicklungszentrum des Volkswagenwerkes Wolfsburg/BRD, stellte eine automatische Testanlage für Dauerversuche an Automotoren vor. Sie arbeitet auf der Basis mehrerer Rechner, die hierarchisch miteinander verkoppelt sind. Die Motoren laufen bis 2500 Stunden im 24 Stunden-7 Tage/Woche-Dauertest.

Die Dauerversuche beziehen sich nicht nur auf normale Betriebsbedingungen, sondern auch auf erschwerte Randbedingungen, wie Temperaturschocks, Vollbremsung und ähnliches. Als Ortsrechner dienen pdp 11/23, als Steuerrechner der pdp 11/44, als Kontrollrechner der VAX 11/780 in etwa 1 km Entfernung vom Steuerrechner. Als zentrale Datenverarbeitung dient der Cyber 750. Mit diesem System ist es möglich, bisher mehr als 180 000 im Rechner gespeicherte Teile mit sehr geringem Zeitaufwand in Testprozeduren einzubeziehen. Die Kontrolle der Rechner bezüglich ihres Funktionsverhaltens auch bei Störungen erfolgt für pdp 11 und VAX 11 über die Zentrale Hannover/BRD und für Cyber 750 über die Zentrale Valbonne/Frankreich. Beide Einrichtungen haben einen 24 Stunden-7 Tage/Woche-Service.

S. Warsza, Institut für Meteorologie und Wasserversorgung Warszawa, berichtete über die Entwicklung von Diagnosemethoden für die Testung von Abrieb an Eisenbahnrädern während ihres Ablaufs durch eine Testzone. Ziel der Untersuchungen war die Ermittlung der Wirksamkeit von Antiblockiersystemen.

Sektion 4: Große physikalische Systeme

Leitung: Prof. *Hofmann*/DDR und Dr. *Glover*/GB

J. Kozak, Forschungs- und Testinstitut für Flugzeuge Prag, behandelte das in der ČSSR entwickelte Testsystem für die dort hergestellten Sportflugzeuge. Er zeigte anhand von zahlreichen Übersichten und Bildern, welche speziellen Lösungen in der ČSSR gefunden wurden. Es werden 64 Kanäle jeweils 8 bit breit aufgezeichnet. Die Aufzeichnungsperiode der Kanäle beträgt 1 s. Der Recorder arbeitet mit 12,7 mm Band auf 9 Spuren.

R. G. Clark vom Engineering and Resources Consultants Ltd./GB zeigte sehr interessante Bilder von erheblichen Korrosionserscheinungen an der Sperrmauer des Val de la Mare Dam auf der Westseite von Jersey in den Kanalinseln.

Er hält bei 22 m Höhe und einer Kammlänge von 168 m durch jeweils 6,7 m breite monolithische Betonblöcke eine Wasserreserve von 258 000 m³. Der Staudamm wurde 1957 bis 1962 gebaut. Ab 1971, nach einer längeren Periode mit ungewöhnlicher Kälte, zeigten sich Verschiebungen der Betonblöcke von 6 bis 13 mm und zunehmendes Auftreten von Rissen. Von den Autoren wird erwartet, daß durch kontinuierliche Ultraschallanalysen erfaßt werden kann, ob sich der Zustand des Dammes weiterhin verschlechtert oder aber stabilisiert.

D. Bower vom National Coal Board, Mining Research and Development Establishment Burton on Trent/GB, teilte die Ergebnisse systematischer Untersuchungen kontinuierlicher Schwingungen an Untertageventilatoren der britischen Kohlenindustrie mit.

Aus Musteranalysen der Spektrogramme wird über Rechner ermittelt, ob der Ventilator (Belüfter) mit einer Antriebsleistung bis 820 kW in Ordnung ist. Defekte ergeben charakteristische Spektren, die der Rechner wiedererkennt.

D. Barschdorff, Universität Paderborn/BRD, behandelte ein Diagnosesystem für die verteilte Signalverarbeitung zur Überwachung von rotierenden Maschinen.

Auf der Basis von akustischer Mustererkennung wurden die Geräusche an Turbomaschinen und Verbrennungsmaschinen durch mikrorechnergestützte akustische Analyse ausgewertet.

In beiden Fällen ergeben sich signifikante Unterschiede für Lagerschäden, Unwuchten, Ventilklappern und Auspuffrisse. Die normalisierte Kreuzkorrelation erfolgt durch Parallelverarbeitung in mehreren Rechnern, da die schnelle Fourier-Transformation oder Korrelationsanalyse für die Untersuchung rotierender Maschinen zur Zeit zu aufwendig ist.

S. Warsza trug abschließend einen nicht ausgedruckten Vortrag von *R. Romaniuk*, Technische Universität Warszawa, über die Möglichkeit der Anwendung der Faseroptiktechnologie für Zwecke der technischen Diagnostik vor. Die Faseroptik, Optoelektronik und integrierte Optik sind die drei Bestandteile eines sich schnell entwickelnden Gebietes an der Grenze zwischen Optik und Festkörperphysik. Gegenwärtig wird die Lichtleitertechnik hauptsächlich in der Nachrichtentechnik angewendet. Die schnelle Entwicklung von optoelektronischen Sensoren, intelligenten Sensoren mit optischen Eingangsgrößen und unterschiedlichsten Lichtfasern sowie optischen Datenverarbeitungsgeräten auf der Basis von Laser führt zu einer schnellen Ausdehnung des Anwendungsgebietes. Es ist zu erwarten, daß in wenigen Jahren ausgereifte Problemlösungen auf dem Gebiet der Präzisionsmeßtechnik, Prozeßmeßtechnik und Technischen Diagnostik angeboten werden, die auf opto-elektronischen Funktionsprinzipien basieren und entsprechenden elektronischen oder mechanischen Lösungen weit überlegen sind.

Lichtfasern können mit aktiven oder passiven Lichtquellen als Informationskanäle, als Einzelfasern oder Faserbündel für die Bildübertragung sowie als Sensoren arbeiten. Lichtfasern haben den Vorteil, daß sie eine große Bandbreite haben, leicht an schwer zugängliche Stellen geführt werden können, geringe Dämpfung aufweisen und gegenüber elektromagnetischen Störeinflüssen unempfindlich sind.

Lichtfaserkabel können unmittelbar mit Hochspannungs- oder Hochstromleitungen verlegt werden, ohne daß eine gegenseitige Beeinflussung auftritt. Lichtleiterkabel zeigen keinerlei Interferenzerscheinungen oder Erscheinungen des Übersprechens. Sie strahlen nichts ab. Ihre geringe Masse läßt eine hohe Pakkungsdichte zu.

Faseroptische Polarisationssensoren basieren auf dem Farraday-Effekt oder auf Isotropie sowie Spannungseffekten. Anwendungen sind für die Messung elek-

trischer, magnetischer und mechanischer Größen denkbar. Die Sensoren sind extrem empfindlich und können unter besonderen Bedingungen die Empfindlichkeit von SQUIDs übersteigen.
Faseroptische Frequenzsensoren arbeiten auf der Basis von Interferometern, die räumliche oder zeitliche Interferenzen registrieren können. Räumlichen Interferenzen liegt der Modenkopplungseffekt, zeitlichen Interferenzen der Dopplereffekt zugrunde. Anwendungen sind bei der Messung mechanischer, hydraulischer und pneumatischer Größen zu sehen.
Darüber hinaus ist denkbar, daß Lichtleiter mit optisch-aktiven Medien umgeben werden und aus der Wechselwirkung zwischen Lichtleiter und optisch-aktivem Medium weitere Meßeffekte abzuleiten sind. Das optisch aktive Medium könnte pH-empfindlich sein, ionenempfindlich oder feuchteempfindlich sowie magnetostriktiv oder szintilierend. Für Temperaturmessungen könnten Flüssigkristalle angewendet werden.
Grenzen der Anwendung sind gegenwärtig bei Kosten, Zuverlässigkeit, Flexibilität, Interfaces und Qualifizierung zu sehen. Die Entwicklung und Anwendung der Optoelektronik verlangt eine wesentlich intensivere Ausbildung auf dem Gebiet der theoretischen und technischen Optik.

Die Volltexte der Beiträge sind im Tagungsband „Technical Diagnostics", London: The Institute of Measurement and Control 1981 ausgedruckt. Die Übersetzung der englischen Texte wird durch das „IMEKO Glossary of Terms and Definitions for Use in Technical Diagnostics and Condition-based Maintenance" erleichtert, das durch das IMEKO TC 10 erarbeitet wurde. Beide Quellen können beim Berichterstatter eingesehen werden.
Die deutsche Übersetzung und der Druck ausgewählter Beiträge sind in Vorbereitung.

msr 7633 *D. Hofmann*, Mitglied des Generalrates und Vorsitzender des TC Meßtheorie der IMEKO

11. Internationales Symposium über Industrieroboter

Das 11. Internationale Symposium über Industrieroboter (ISIR) fand im Oktober 1981 in Tokio statt. Veranstalter waren die Japan Industrial Robot Association (JIRA) und die Society of Biomechanisms Japan (SOBIM). Es wurden 94 Vorträge zu den Schwerpunkten:

- Allgemeine Aspekte des Robotereinsatzes
- Roboter für behinderte Personen
- Erkennungssysteme und Sensoren
- Mobile Roboter
- Steuerungen
- Greifer
- Analyse und Synthese des mechanischen Systems
- Entwurf von Produktionssystemen
- Einsatzerfahrungen und neue Anwendungen
- Software und Sprachen
- Industrieanwendungen

angeboten. Hinzu kamen in zwei speziellen Sektionen 10 Filme über Anwendungsbeispiele.
Das Symposium wurde von etwa 700 Teilnehmern aus 27 Ländern besucht, darunter etwa 50% Anwender, 30% Wissenschaftler und 20% Roboterhersteller. Dieser Zusammensetzung wurde durch die Auswahl der Themen, die Organisation der Vorträge in entsprechend parallel verlaufenden Sektionen und die Art der Darbietung Rechnung getragen. Das Symposium wurde durch eine Eröffnungsansprache des japanischen Ministers für Außenhandel und Industrie, *R. Tanaka*, eingeleitet, Inhalt seiner Rede war das Verhältnis Roboter — Mensch in der Arbeitssphäre.
In dem von *K. Yonemoto*, JIRA/Japan gehaltenen Hauptvortrag „Stand der Industrierobotertechnik in Japan und die sozialökonomische Bedeutung" wurde anhand umfangreicher statistischer Angaben über eingesetzte Industrieroboter und ihre Charakteristik die Veränderung der Produktionsstruktur in Japan dargestellt. Entsprechend angeführter Definitionen für Industrieroboter befinden sich gegenwärtig 90000 Industrieroboter in fünf Klassifikationen im Einsatz. Zahlenmäßig sind die prozeßspezifischen Systeme in Japan mit 60% vertreten, wertmäßig nur zu 30%. Haupteinsatzgebiet für diese meist recht einfachen Systeme ist die Elektro- und Elektronikindustrie.
Von *J. Le Quement*/Frankreich wurde das „Nationale Roboter-Forschungs- und Entwicklungsprogramm in Frankreich" vorgestellt. Der Vortrag gab eine Übersicht zu den Strategien, die in Japan, den USA, der BRD und Frankreich mit der Industrierobotertechnik verfolgt und die durch staatliche Subventionen gefördert werden. Es wurde auf Parallelen hingewiesen, die durch die internationale Wirtschaftslage zu objektivem Zwang für die Industrienationen werden. Die wichtigsten Forschungs- und Entwicklungsunternehmen in Frankreich wurden aufgeführt.
Der Vortrag „Einige Aspekte der Entwicklung eines Modularprinzips für den Entwurf und die Arbeit in Fertigungsabschnitten mit Industrierobotern" von *J. Nemcsics*/ČSSR, beschrieb die Konstruktion und Einführung von flexiblen Fertigungsabschnitten im ZTS Schwermaschinenbau Bratislava. Die Anwendung von Industrierobotern wurde als Teil der komplexen Innovation in der Fertigungstechnologie betrachtet. Es wurden Ansätze für die Zerlegung des Arbeitsprozesses in automatisierte technologische Elementaroperationen dargestellt. Ein Pilotsystem mit hoher Modularität der Hardware und Software wurde beschrieben. Es enthält weiterhin ein System automatischer Transportwagen mit Induktionsschleifenführung.
Einen relativ breiten Raum nahm auf dem Symposium die Robotertechnik für kranke oder behinderte Personen ein. Als Beispiele seien genannt: Manipulatoren für bettlägerige Patienten, die durch Sprache gesteuert werden (in Japan gibt es z. Z. etwa 500000 Patienten in Privatunterkünften), Patiententransportroboter zum Umbetten, Baden und Verlegen sowie ein Führungshund-Roboter für Blinde. Die genannten Systeme befinden sich im Experimentalstadium.

Schwerpunkte bei den Vorträgen zu Erkennungssystemen waren die Vereinfachung von Bildauswertealgorithmen, die Erfüllung von Echtzeitforderungen sowie Probleme der 3D-Erkennung für praktische Aufgaben. Es wurde in einer Rundtischdiskussion eingeschätzt, daß das Beleuchtungsproblem nach wie vor die Anwendungsbreite der bestehenden Lösungen einschränkt. In zwei Vorträgen wurde gezeigt, daß mit relativ einfachen Näherungs- und taktilen Sensoren wichtige Probleme, wie das Greifen mit geregelter Greifkraft, Abstands- und Winkelmessungen und Bahnverfolgungen beim Schweißen, gelöst werden können.
Für mobile Roboter werden in breitem Umfang Ultraschallsensoren zur Abstandsmessung und Orientierung im Raum sowie zur Detektion von Hindernissen eingesetzt.
Mobile Systeme werden in einer Reihe von flexiblen Produktionsabschnitten als universelle Transporteinrichtungen benutzt. Eine interessante Lösung wurde von *T. Tsumura* u. a./Japan vorgeschlagen. Es arbeitet ohne Bahnmarkierung, die möglichen Routen werden gespeichert, die Programmierung erfolgt durch Aufruf von Unterprogrammen der entsprechenden Bahnabschnitte. Der Sollwert wird jeweils mit der Anzahl der Raddrehungen und den Werten eines Gyrokompasses verglichen. Die Feinpositionierung erfolgt über entsprechende Sensorsysteme an den Fertigungszellen. Zur Gestaltung der mechanischen Systeme und Antriebe gab es keine gravierenden Neuerungen. Die bereits bekannten Lösungen in kartesischen, zylindrischen und Polarkoordinaten sowie Gelenkroboter wurden in Richtung vergrößerter Arbeitsräume und Verbesserung des dynamischen Verhaltens weiterentwickelt. Hervorzuheben sind neue Ansätze zur mathematischen Modellierung für den Entwurf und die Steuerung.
Auf dem Gebiet der Softwareentwicklung für Steuerung und Belehrung wurden mehrere Robotersprachen höheren Niveaus vorgestellt, die an Aufgabenklassen angepaßt sind (Schweißen, Montage) und eine schnelle Programmier-

barkeit gewährleisten sollen. Es wird allgemein erwartet, daß sich entsprechend den Aufgabenklassen einige wenige Sprachen durchsetzen werden. Der Bedarf nach nur einer universellen Sprache ist vorhanden, es wird jedoch eingeschätzt, daß hierfür gegenwärtig der rechentechnische Aufwand (Zeit, Speicherplatz) noch zu hoch ist.

Parallel zur 11. ISIR fand die „International Industrial Robot Exhibition" im Internationalen Handelszentrum Tokio-Harumi statt. Hier wurden von 39 Herstellerbetrieben Roboter, Periphertechnik, Steuerungen und Programmierarbeitsplätze sowie einige neuentwickelte NC-Werkzeugmaschinen ausgestellt, 90% der Aussteller waren japanische Firmen. Bei den vorgestellten prozeßspezifischen Robotersystemen wurde insbesondere dem Bedürfnis nach Vergrößerung der Handhabemasse (Beschickung von Schmieden und Pressen), Vergrößerung des Arbeitsraumes (Portal-, Kransysteme) und optimaler Anpassung an bestimmte Aufgabenklassen (Beschicken, Montage) Rechnung getragen. Es sind etwa in gleichem Umfang elektrische, hydraulische und pneumatische Antriebssysteme vorhanden, das mechanische System verfügt nur über den notwendigen Umfang an Freiheitsgraden, die in kartesischen oder zylindrischen Koordinaten arbeiten. Steuerungen für diese Systeme sind an die Aufgabenklassen angepaßt.

Bei den prozeßflexiblen Robotern haben sich die Grundkonfigurationen des Unimates (Polarkoordinaten) und die Gelenksysteme mit fünf Freiheitsgraden (ASEA, Puma) durchgesetzt, fast ausschließlich mit elektrischen Antrieben. Für mehrere Typen ist eine programmierbare lineare Verfahreinheit (Schiene) vorgesehen. Viele Firmen verwenden Baukastenelemente. Dies gilt sowohl für flexible als auch spezifische Systeme. Die vorgeführten Standardanwendungen: Punktschweißen, Schutzgasschweißen und Montage von Kleinteilen werden mit außerordentlicher Perfektion beherrscht.

Die Unterlagen des Symposiums sind in der Bibliothek des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW, 1080 Berlin, Kurstr. 33, ausleihbar. Firmenschriften der Ausstellung können beim Verfasser eingesehen werden.

msr 7641 *M. Zecha*

Fachtagung „Anwendung von Mikroprozessoren und Mikrorechnerreglern in der Meß- und Automatisierungstechnik"

Im Rahmen der Wissenschaftlichen Tage 1981 an der Technischen Hochschule „Otto von Guericke" Magdeburg fand am 25. und 26. August 1981 die o. g. Tagung statt. Veranstalter für diese Tagung waren die Wissenschaftsbereiche Prozeßmeßtechnik sowie Regelungstechnik und Prozeßsteuerungen der Sektion Technische Kybernetik und Elektrotechnik der TH „Otto von Guericke" Magdeburg (THM).

Bereits kurz nach dem Erscheinen der Vorankündigung war die vorgesehene Teilnehmerzahl weit überschritten, so daß der Veranstalter sich entschloß, den Rahmen zu erweitern, um den etwa 500 Interessenten, u. a. aus der VR Polen und der Republik Kuba, die Möglichkeit zu geben, sich mit neuesten Erkenntnissen des Mikrorechnereinsatzes vertraut zu machen.

Es wurden 23 Vorträge von Hochschulangehörigen und Fachleuten aus der Industrie in einer Plenarveranstaltung (9 Vorträge) und in 2 Sektionen — Meßwerterfassung und -verarbeitung mit Mikrorechnern bzw. Mikroprozessoren; Mikrorechnerregler in der Automatisierungstechnik — gehalten. Inhaltliche Schwerpunkte waren dabei:

- Darstellung der Möglichkeiten und derzeitigen Grenzen des Einsatzes von Mikrorechnerreglern und Mikroprozessoren
- Erkennen der daraus entstehenden Konsequenzen für Forschung und Entwicklung zur Realisierung des Mikroelektronikprogramms
- Herausarbeiten der mit dem Einsatz der neuen Meß- und Automatisierungsmittel entstandenen Auswirkungen auf die theoretischen Grundlagen.

Im Plenarvortrag von *G. Sahner* (THM) wurden die erkennbaren wesentlichen Konsequenzen des Einbringens der mikroelektronischen Mittel und die zu erwartenden neuen Lösungen auf dem Fachgebiet umrissen. Im Mittelpunkt standen Konzeptionen der Meßwerterfassung, die in Verbindung mit den Möglichkeiten der dezentralen Verarbeitung größerer Datenmengen und der Datenreduktion zu sehen sind, und die Wandlerproblematik mit den Aspekten Digitalisierung und Abbildsignal.

Organisationsformen und -strukturen moderner Meßwerterfassungssysteme wurden ebenso wie die Vielzahl der bei der Programmerarbeitung zu erbringenden wissenschaftlichen Leistungen und erforderlichen Voraussetzungen behandelt. Zum Entwurf von verteilten Automatisierungsanlagen wurde von *P. Neumann* (THM) deutlich herausgearbeitet, daß eine Reihe neuer Probleme und Besonderheiten auftritt, die bei der Festlegung der Anlagenstruktur zu beachten bzw. zu beherrschen sind. Die Vielzahl der zu berücksichtigenden Auslegungsschwerpunkte mit ihren geräte- *und* programmtechnischen Komponenten wurden umrissen. Die Festlegung der Geräte- und Programmstruktur, die wesentlicher Gegenstand der Projektierung ist, wurde in Arbeitsschritte untergliedert und das für die Auslegungsberechnung vorgeschlagene Instrumentarium im Überblick dargestellt.

Im Vortrag von *P. Schmidt* und *W. Wittig* (IfR im KEAW Berlin) wurden Lösungsvorstellungen zur Hard- und Software für Mikrorechnerregler des ursamar 5000 dargestellt. Besonders wurde auf bereits implementierten und erprobten PID- und Deadbeat-Algorithmen und die zugehörige Eingangs- und Ausgangssignalverarbeitung eingegangen. In diesem Zusammenhang wurde auf ein Simulations- und Entwurfsprogrammpaket eingegangen, das den Anwender bei der Inbetriebnahme unterstützen soll.

Im Vortrag von *H. Albrecht* (WPU Rostock, vorgetragen von *H. Röhl*) wurden Schaltungen zur potentialgetrennten Übertragung analoger Signale unter Verwendung von Optokopplern vorgestellt. Verschiedene Schaltungsvarianten zur Realisierung unterschiedlicher Forderungen wurden diskutiert.

M. Seifart (THM) gab einen Überblick über die Strukturen und den gegenwärtigen Stand von Analogwerterfassungssystemen für Mikrorechner, insbesondere für die Erfassung kleiner Signale. Die wichtigsten Elemente von Analogwerterfassungssystemen wurden behandelt und die Leistungsfähigkeit integrierter Analogschaltkreise eingeschätzt. Aus den gegebenen Anforderungen wurde eine neuartige Konzeption zur seriellen digitalen Meßwerterfassung und -übertragung abgeleitet.

M. Krauß und *W. Jehmlich* (TH Karl-Marx-Stadt) behandelten die Möglichkeiten und den schaltungstechnischen Aufwand bei Eingabe- und Ausgabeschnittstellen zur Ankopplung von A/D- und D/A-Umsetzern an den Mikrorechner K 1520. Vorgestellt wurden getestete Varianten für einen Kanal bzw. für acht Kanäle. Zur Gewährleistung der Störsicherheit digitaler Feldbusstrukturen stellte *F. Güttler* (THM) eine Entwurfsmethodik für störsichere Informationssysteme für die Prozeßautomatisierung vor. Die Beschreibung stochastischer Störprozesse erfolgt durch prozeßtypische sog. Primärcharakteristiken, aus denen sich Gütekriterien und die Bitfehler-Wahrscheinlichkeit ableiten lassen. Zur Datensicherung bei der Übertragung kann ein im System vorhandener Mikrorechner mitgenutzt werden.

G. Fritzsche (HfV Dresden) behandelte theoretische Probleme der zeitdiskreten Signalverarbeitung, die mit zunehmendem Einsatz von Mikroprozessoren zur

Meßwertverarbeitung auch in der Meßtechnik relevant werden. Mit dem Ziel einer übersichtlichen, ingenieurmäßigen Anwendung wurden Besonderheiten digitaler Realisierungen an Beispielen erläutert.

B. Michaelis (z. Z. VIK Dubna) stellte ein Konzept zur Gewinnung verallgemeinerter (synthetischer) Meßgrößen vor, das unter Anwendung der modenen Mikrorechentechnik ökonomisch realisierbar ist. Die Leistungsfähigkeit und Anwendungsbreite wurde durch Beispiele verdeutlicht.

Die Vorträge in der Sektion 1 behandelten spezielle Fragen der Anwendung von Mikroprozessoren in der Meßtechnik.

H. Beikirch (THM) stellte ein (nachnutzungsfähiges) 8-Kanal-Analogwerterfassungssystem für den Mikrorechner K 1510 vor. Der eingesetzte A/D-Umsetzer arbeitet nach dem Charge-balancing-Verfahren und hat eine Auflösung von 12 bit.

R. Förster (THM) berichtete über ein gleiches System für den Mikrorechner K 1520. Beide Systeme können direkt an den Bus des jeweiligen Mikrorechners angeschlossen werden.

D. Hofmann und *A. Drechsel* (FSU Jena) berichteten über einen Peripherie-Anschluß nach dem Interface SI 1.2 für den Mikrorechner K 1002 bzw. für den Mikroprozessor U 808, über den sich unter Verwendung eines A/D-Umsetzers analoge Sensoren direkt ankoppeln lassen. Im Vortrag wurden die Ansteuerlogik vorgestellt und Einsatzerfahrungen mitgeteilt.

Für die Meßwerterfassung und -übertragung bei der Klein- und Aggregatautomatisierung stellte *M. Seifart* (THM) ein sehr flexibles System mit geringstem Hard- und Softwareaufwand vor. Das System arbeitet nach dem Party-line-Prinzip, wobei zur (seriellen) Übertragung von Daten, Adressen und Steuersignalen eine einfache verdrillte Zweidrahtleitung verwendet wird. An diesen gemeinsamen Bus können bis zu je 16 Eingabe- und Ausgabeeinheiten angeschlossen werden.

Zur Störbeeinflussung einer Zweidrahtleitung für digitale Meßwertübertragung durch Einkopplung elektrischer Störsignale berichteten *M. Seifart* und *K. Barenthin* (THM) über theoretische und praktische Ergebnisse, wobei zur Datenübertragung Rechtecksignale vorausgesetzt wurden.

Zur Realisierung der stets problematischen Kalibrierung bzw. Nachkalibrierung von Meßfühlern bei diskontinuierlichen Prozessen unter Verwendung eines Mikroprozessors stellte *H. Holub* (THM) einen Algorithmus vor, der bei Kenntnis der prinzipiellen (typischen) Wandlerkennlinie mit nur geringer Anzahl von Meßpunkten auskommt. Dabei wird zugleich die Kennlinie linearisiert und der Meßfehler verringert. *R. Engel* (VEB GRW Teltow) stellte Systemkomponenten zur frequenzanalogen Meßwertübertragung bei modernen Automatisierungskonzepten vor. Durch Abbildung der Meßgröße auf den Informationsparameter Frequenz kann eine höhere Störsicherheit in Prozeßnähe und Rechnerkompatibilität bei der Verarbeitung erreicht werden. Auch die Stelltechnik läßt sich in dieses Konzept einbeziehen.

Über einen Algorithmus für einen digitalen Phasenregelkreis (PLL) berichtete *J. Lorenzo* (Santa Clara, Kuba). Dieser durch einen Mikrorechner zu realisierende PLL ermöglicht eine Minimierung der Fangzeit, ohne das Verhalten des PLL im Haltebereich zu beeinflussen.

Die Vorträge in der Sektion 2 waren den Anwendungen von Mikrorechnern in der Automatisierungstechnik gewidmet. Von *C. Döschner* und *U. Janzen* (THM) wurde ein Verfahren zur Extremwertsuche für Objekte mit nicht vernachlässigbarer Dynamik durch Prozeß- und Mikrorechner vorgestellt. Unter Beachtung der besonderen Bedingungen, die durch den Einsatz der modernen Gerätetechnik geschaffen wurden, wird für braunkohlegefeuerte Dampferzeuger ein Algorithmus der automatischen Optimierung des Luftüberschusses erläutert.

Der Vortrag von *U. Korn* und *H. Krüger* (THM) befaßte sich mit der Vorstellung neuer Mehrgrößenregelalgorithmen unter dem Aspekt ihrer Umsetzbarkeit auf Mehrkanal-Mikroprozessor-Regler. Dabei werden die Leistungs- und Strukturbeschränkungen, die diese Gerätetechnik setzt, bereits beim Entwurf beachtet.

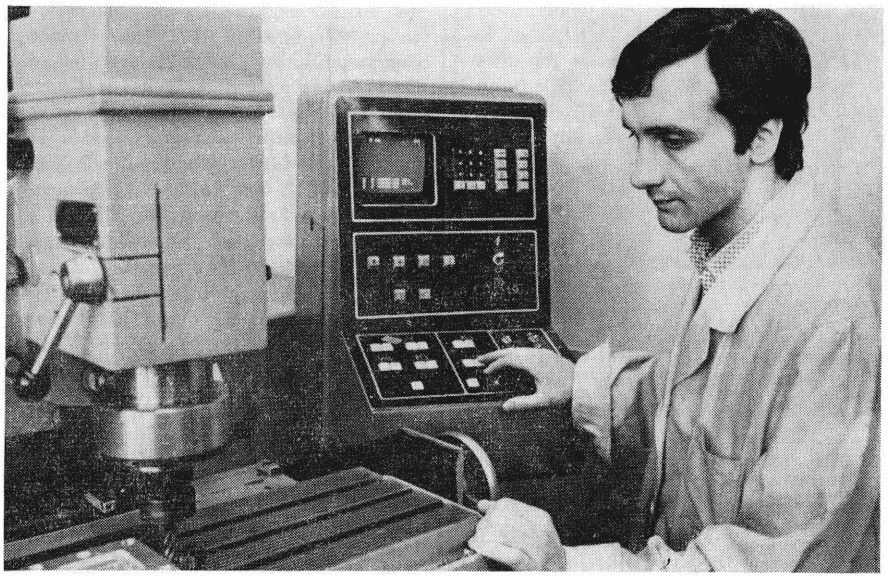
Weitere Vorträge kennzeichneten die Darstellung neuer Möglichkeiten und Grenzen der Hardwaregestaltung des Mikrorechner-Einsatzes.

H.-J. Schumann (THM) berichtete über einige Einsatzerfahrungen von Mikroprozessor-Reglern. An einigen typischen Beispielen wird eine Erprobungsstrategie zur Auffindung von Mängeln in der Hard- und Software und deren Ursachen demonstriert. Hieraus lassen sich konkrete Schlußfolgerungen für die Entwicklung von Mikroprozessor-Reglern ableiten und Hinweise zu den notwendigen Vorleistungen zur Einsatzvorbereitung derartiger Automatisierungsgeräte geben. Im Beitrag von *E. Korner* (IfR Berlin) wurden Aufgaben der Autodiagnose im Mehrkanal-Mikrorechnerregler und ihre praktische Realisierung behandelt. Beim dargelegten Verfahren steht die zeitzyklische Überprüfung von Hard- und Softwarefunktionen mit Ableitung von Reaktionen im Störfall im Mittelpunkt.

Mit den Ausführungen von *W. Badelt* und *S. Hauser* (TU Dresden) wurde eine Reaktionszeitsteuerung mit Mikrorechner am Beispiel des Kochprozesses bei der Zellstoffherstellung vorgestellt. Die Darstellung von Ansteuereinheiten zur Kopplung von Mikrorechnerreglern mit Stelleinrichtungen zur Stoffstrombeeinflussung waren Gegenstand des Vortrages von *K. Grecksch* und *O. Telschow* (THM). Zur Diskussion standen Lösungsvorschläge für die Hardware zur Ankopplung von Stelleinrichtungen unterschiedlicher Hilfsenergie an Mikrorechnerregler. Dabei findet insbesondere die Übernahme spezifischer stelltechnischer Forderungen in die Informationsverarbeitung Berücksichtigung.

Insgesamt hat die Veranstaltung eine gute Resonanz gefunden und stellte einen gelungenen Beitrag zur beschleunigten Einführung der Mikroelektronik auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik in verschiedenen Bereichen unserer Volkswirtschaft dar.

msr 7634 *U. Korn; R. Pilz; G. Sahner*



In einem Leningrader Kombinat werden hochintegrierte Schaltkreise und Mikroprozessoren als Basis für Mikrorechner entwickelt und produziert, die diverse Aufgaben der automatischen Steuerung lösen. Als Beispiel zeigt das Bild eine mit einem CNC-System ausgerüstete Fräsmaschine, das sich von herkömmlichen Systemen durch seine Vor-Ort-Programmierbarkeit ohne spezielle Hilfsmittel unterscheidet.

Untersuchungen zur Automatisierung der Kurssteuerung von Schiffen mittels digitaler Simulation

G. Becherer wurde am 27. Oktober 1940 in Zielenzig Krs. Oststernberg geboren.
1959 bis 1965 Studium an der TU Dresden, Fachrichtung Schwachstromtechnik; 1965 bis 1970 Industrietätigkeit (Fernsehgerätewerk Staßfurt; Versuchs- und Entwicklungsstelle für das Sicherungs- und Fernmeldewesen der Deutschen Reichsbahn Berlin; Kombinat Robotron, Außenstelle Rostock); seit 1971 Mitarbeiter der Abteilung Rechentechnik der Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow.
Dissertation A an der Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow, Warnemünde, 11. Dezember 1981.

Doktorand: Dipl.-Ing. *G. Becherer*
Vorsitzender der Prüfungskommission: Prof. Dr. sc. techn. *L. Uhlig*
Gutachter: Doz. Dr.-Ing. *J. Majohr*
Prof. Dr. sc. techn. *K. Hormann*
Doz. Dr. sc. techn. *H. Buttler*

Die Dissertation kann nur über die Bibliothek der IH für Seefahrt Warnemünde/Wustrow entliehen werden.
msr 7632 Dr.-Ing. *G. Becherer*, Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow, Abteilung Rechentechnik, 2530 Warnemünde, Richard-Wagner-Straße.

Nach der Beschreibung des verwendeten mathematischen Modells eines vereinfachten Kursregelkreises werden theoretische Möglichkeiten für den Aufbau adaptiver Kursregelungssysteme behandelt. Zur Berechnung des dynamischen Verhaltens eines Kursregelkreises wird die digitale Simulation verwendet (ein gleichungs- und ein blockorientiertes digitales Simulationsverfahren). Es folgt eine Beschreibung des Echtzeitsimulationsprogrammes DISI, das zu einem Kurssteuerungstrainer erweitert werden kann. Ein Hauptmerkmal dieses Programms ist die mit der Berechnung schritthaltende grafische Ausgabe des berechneten Kurs- bzw. Ruderwinkels auf einem X-Y-Schreiber.
Anschließend wird die Anwendung von Optimierungskriterien, getrennt nach den Betriebsarten Führungs- und Festwertkursregelung, mit Hilfe der digitalen Simulation untersucht. Die Ergebnisse führen zu Untersuchungen über die Realisierbarkeit eines parameteradaptiven Kursregelungssystems auf der Basis einer adaptiven Steuerung. Nach der Behandlung der theoretischen Möglichkeiten für den Aufbau parameteradaptiver Kursregelungssysteme mit einem Vergleichsmodell (MRAS — Model Reference Adaptive System) wird ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem das dynamische Verhalten des Vergleichsmodells durch digitale Simulation ermittelt wird. Dieses Verfahren eignet sich zur Erweiterung der zur Zeit verwendeten analogen Kursregler zu adaptiven Kursregelungssystemen mit Mikrorechner.

msr 7632

Beitrag zur Prozeßanalyse und zur Automatisierung der Kurssteuerung von Schiffen

J. Majohr (43) studierte von 1956 bis 1962 an der Hochschule für Elektrotechnik (heutige TH) Ilmenau, Fachrichtung Hochfrequenztechnik und Elektroakustik; von 1962 bis 1971 Industrietätigkeit als Themenleiter und wissenschaftlicher Mitarbeiter im VEB Funkwerk Köpenick, Forschungs- und Entwicklungsbereich Schiffsführungstechnik; 1969 Abschluß einer außerplanmäßigen wissenschaftlichen Aspirantur (Dr.-Ing.) an der TH Magdeburg; seit 1971 an der IH für Seefahrt im Wissenschaftsbereich Navigation tätig, anfangs als Oberassistent, seit 1975 als Hochschuldozent für Technische Systeme der Navigation.
Dissertation B an der Fakultät für Elektrotechnik/Elektronik des Wissenschaftlichen Rates der Technischen Universität Dresden; Dresden, den 16. Dezember 1981

Doktorand: Dr.-Ing. *J. Majohr*
Dekan: Prof. Dr.-Ing. habil W. *Mosch*
Gutachter: Prof. Dr.-Ing. *H. Töpfer*
Prof. Dr. sc. techn. *L. Uhlig*
Prof. Dr. sc. techn. *W. Weller*

Die Dissertation kann nur über die Universitätsbibliothek der TU Dresden entliehen werden.
msr 7631 Doz. Dr. sc. techn. *J. Majohr*, Ingenieurhochschule für Seefahrt Warnemünde/Wustrow, Sektion Schiffsführung, 2530 Warnemünde, Richard-Wagner-Straße.

Gegenstand der Dissertation ist die Erarbeitung von Beiträgen zur Prozeßanalyse (Systemanalyse der Steuerbewegung des Schiffes, Störgrößenanalyse) und die auf dieser Grundlage erfolgende Behandlung von höherstrukturierten (adaptiven) Steuerungsalgorithmen zur weiteren Automatisierung des dynamischen Kurssteuerungsprozesses mit der Zielstellung der Erfüllung seewirtschaftlicher Forderungen, wie Erhöhung der navigatorischen Schiffssicherheit und der Energieökonomie des Schiffsbetriebes sowie Verbesserung der Mensch-Automat-Kommunikation.
Bei der theoretischen Systemanalyse des Schiffes als erster Teilaufgabe der Prozeßanalyse wird ein für die Zwecke der Automatisierung der Kurssteuerung, aber auch zukünftiger Formen der Richtungssteuerung (Bahnwinkelregelung, Bahnregelung) geeignetes methodisches Konzept mathematischer Modelle der zugehörigen Regelstrecken in Form einer Objektmodellhierarchie erarbeitet. Die auf einer größeren Anzahl originalgroßer Schiffe mit Hilfe von Übergangsfunktion- und Frequenzgangtests durchgeführte experimentelle Systemanalyse zeigt den Gültigkeitsbereich der linearen Theorie der Kursregelstrecke für kleine Ruderauslenkungen und die Abhängigkeiten der Streckenparameter von Schiffstyp (Deplacement), Schiffsgeschwindigkeit, Beladung sowie von der Stellgröße Ruderwinkel, wobei letztgenannter Einfluß durch einen nichtlinearen Modellansatz erfaßt wird.

Die von Bordmessungen ausgehende, rechnergestützte stochastische Störsignalanalyse führt zu neuen, quantitativen Ergebnissen bezüglich des Leistungsdichtespektrums der Kursstörgröße infolge Seegang und Wind und dessen regelbarer und nichtregelbarer (auszufilternder) Spektralanteile, wobei diese Ergebnisse durch theoretische Untersuchungen zum dynamischen Regelfaktor des geschlossenen Kursregelkreises verallgemeinert werden.

Die Untersuchung von Filtersystemen zur effektiven Unterdrückung des Rauschanteils der Kursstörgröße impliziert die diskrete Kalman-Optimalfilterung sowie ein nichtlineares Filtersystem.

Mit digitaler Simulation (Programm DISI) erfolgt die Ableitung von Automatisierungszielen in Form energetisch und navigatorisch begründeter Gütekri-

terien mit Restriktionen, die Parameteroptimierung eines stetigen PID-Kursreglers sowie die Realisierung eines in Dialogkommunikation arbeitenden Trainingssystems.
Ein entwickeltes Systemkonzept adaptiver Systeme der Kursregelung beinhaltet sowohl parameter- als auch störsignaladaptive Systeme. Im Rahmen der Parameteradaption wird ein System mit Adaptivsteuerung (Vorwärtsoptimierung) und ein spezielles Verfahren der Adaptivregelung mit festem Bezugsmodell (signal-synthesis-adaption) mit Hilfe digitaler Simulation untersucht. Zur Störsignaladaption wird ein diskontinuierliches Gradienten-Suchverfahren entwickelt. Borduntersuchungen zeigen die ökonomische Relevanz der Optimierung der Kurssteuerung.

Insgesamt werden durch die Arbeit theoretische Grundlagen zur Erarbeitung von Soft- und Hardware für ein dezentrales Automatisierungssystem der Kurssteuerung mit Mikroprozeßrechner als Subsystem eines hierarchischen Automatisierungssystems der Schiffsführung geschaffen.

msr 7631

msr PERSÖNLICHES

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Winfried Oppelt — 70 Jahre

Am 5. Juni 1982 feierte Professor Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. *Winfried Oppelt* seinen 70. Geburtstag. Der Jubilar wurde 1912 in Hanau geboren und besuchte in Darmstadt Volksschule und Realgymnasium. Danach widmete er sich an der Technischen Hochschule Darmstadt dem Studium der Technischen Physik und erwarb 1934 das Diplom. Während seiner Industrietätigkeit in Berlin und Kiel arbeitete er auch an seiner Dissertation zum Thema: „Dämpfung von Regelvorgängen durch verzögerte Rückführung", die er 1943 an der Technischen Hochschule Darmstadt verteidigte. Nach langjähriger erfolgreicher Tätigkeit bei der Fa. Hartmann & Braun erfolgte 1956 die Berufung von *W. Oppelt* zum ordentlichen Professor für Regelungstechnik und zum Direktor des neugegründeten gleichnamigen Instituts an der Technischen Hochschule Darmstadt, wo er bis zu seiner Emeritierung im Herbst 1977 wirkte. Von seinen vielen Schülern sind heute eine stattliche Zahl in wesentlichen Positionen an Hochschulen und in der Industrie tätig.
Neben seinen mehr als fünfzig Zeitschriftenveröffentlichungen, darunter auch einigen in der msr, sind besonders seine Bücher hervorzuheben. So verfaßte er bereits 1947 die „Grundgesetze der Regelung" und 1949 „Stetige Regelvorgänge", wovon 1952 je eine japanische Übersetzung erschien. Daraus entstand das „Kleine Handbuch technischer Regelvorgänge" (Verlag Chemie), wobei die erste Auflage 1953 und die 5. im Jahre 1972 herauskam. 1957 erschien davon eine französische Ausgabe, 1958 und 1967 zwei tschechische, 1958 eine polnische, 1960 eine sowjetische, 1965 eine rumänische, 1969 eine ungarische.

Die 4. Auflage 1969 wurde als Gemeinschaftsauflage in der DDR (VEB Verlag Technik) gedruckt. Schließlich ist noch „Der Mensch als Regler" von *W. Oppelt* und *G. Vossius* (Herausgeber) 1970 (VEB Verlag Technik) anzuführen.

Im Rahmen seiner internationalen Wirksamkeit war Prof. *Oppelt* u. a. öfter Gast zu Vorträgen in der DDR, speziell in Dresden und Ilmenau, aber auch in der Sowjetunion: in Moskau, Kiew und Odessa.

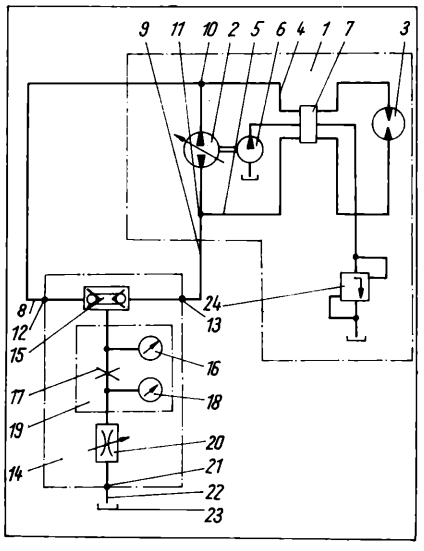
Der Jubilar hat es vor allem durch sein Handbuch verstanden, das Gebiet der Regelungstechnik einer breiten Schicht Interessierter zu erschließen und dazu beizutragen, daß es als selbständiges Wissensgebiet wirksam wurde. Hervorzuheben seien auch seine Bemühungen um die Fragen der Ausbildung, die er im Rahmen der IFAC vorantrieb, und nicht zuletzt die um die Pflege der deutschen Sprache, mit der der Ingenieur oft so nachlässig umgeht. Für seine Leistungen wurden *W. Oppelt* u. a. folgende Würdigungen zuteil:

Verleihung des Ehrendoktors durch die Technische Hochschule München 1965, Fellow IEEE (USA) 1967, Grashof-Gedenkmünze (Düsseldorf) 1971, Wilhelm-Exner-Medaille (Wien) 1979, EEC-Medal (London) 1981.

Wir wünschen dem Jubilar, der sich auf dem Fachgebiet der Regelungstechnik so große Verdienste erwarb und der aufgrund seines gewinnenden Wesens viele Freunde fand, weiterhin schöne Jahre bei bestem Wohlergehen.

msr 7650 *H. Kindler*

Verfahren und Vorrichtung zum Testen geschlossener hydraulischer Kreisläufe



1 Getriebe; *2* Arbeitspumpe; *3* Hydromotor; *4, 5* Hauptleitungen; *6* Speisepumpe; *7* Ventilblock; *8, 9, 22* Leitungen; *10, 11, 12, 13, 21* Anschlüsse; *14* Vorrichtung; *15* UND-Ventil; *16, 18* Druckmeßgeräte; *17* Meßblende; *19* Mengenmeßeinrichtung; *20* Drosseleinrichtung; *23* Behälter; *24* Ausspeiseventil

DDR-WP 141 187, Klasse F 15 B, Gruppe 19/00, 6 Anspruchspunkte, 2 Zeichnungen. Anmeldung: 27. Dezember 1978. Ausgabe: 16. April 1980. Inhaber: *W. Funke, F. Prasser, B. Leitholdt*

Mit der Erfindung kann die Restlebensdauer hydraulischer Geräte, insbesondere hydraulischer Getriebe, im geschlossenen Kreislauf festgestellt werden.

Mit einem hydrostatischen Getriebe *1* ist eine umsteuerbare Arbeitspumpe *2* mit einem Hydromotor *3* über Hauptleitungen *4, 5* als geschlossener Kreislauf geschaltet. Eine Speisepumpe *6* dient der Ergänzung des im Kreislauf befindlichen Ölvolumenstromes, während in einem Ventilblock *7* alle nicht einzeln dargestellten Kreislauf-Ventile enthalten sind.

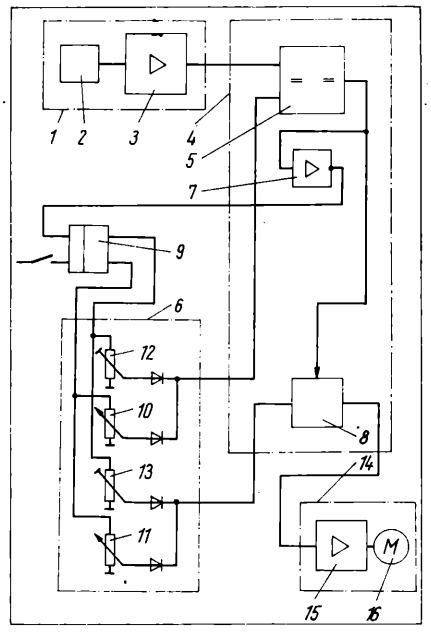
Leitungen *8* und *9* verbinden über Anschlüsse *10* und *11* die Hauptleitungen *4* und *5* mit Anschlüssen *12* und *13* einer Vorrichtung *14*, in der ein UND-Ventil *15*, eine aus einem Druckmeßgerät *16*, einer Meßblende *17* und einem weiteren Druckmeßgerät *18* bestehende Mengenmeßeinrichtung *19* und eine einstellbare Drosseleinrichtung *20* hintereinander hydraulisch verbunden sind.

Von einem Anschluß *21* an der Vorrichtung *14* führt eine Leitung *22* zu einem drucklosen Behälter *23*. Der in der jeweiligen Hauptleitung *4* oder *5* anstehende Hochdruck steuert das UND-Ventil *15* zur Verbindung der als Niederdruckleitung arbeitenden Hauptleitung *4* oder *5* mit der Mengenmeßeinrichtung *19*. An dem Ventilblock *7* ist ein Ausspeiseventil *24* angeschlossen.

Bei der nach dem erfindungsgemäßen Verfahren durchzuführenden Messung arbeitet die Hauptleitung *5* als Niederdruckleitung. Die Menge des mit Hilfe der Vorrichtung *14* ermittelten Ölvolumenstromes entspricht dem Überschuß des mit der Speisepumpe *6* eingespeisten Ölvolumenstromes, der von dem hydraulischen Getriebe *1* bis zu dessen Lebensdauernde als Leckölstrom noch aufgebraucht werden kann.

Verfahrensgemäß wird der Niederdruck des hydrostatischen Kreislaufes unter den Betriebsdruck abgesenkt, der durch ein Ausspeiseventil bestimmt wird. Der Überschuß des Ölvolumenstromes, der durch eine Speisepumpe dem Kreislauf zugeführt wird und den zur Aufrechterhaltung des abgesenkten Druckes erforderlichen Ölvolumenstromes übersteigt, wird einer Mengenmessung zugeführt. msr 7506

Adaptive Steuerungsanordnung für die Vorschubbewegung von Werkzeug oder Werkstück beim Schleifen



1 Meßeinrichtung; *2* Meßwertaufnehmer; *3, 7* Verstärker; *4* Zweipunktregler; *5* Komparator; *6* Sollwertvorgabeeinheit; *8* Tor; *9* Flip-Flop; *10, 11, 12, 13* Einstellwiderstände; *14* Vorschubantrieb; *15* Verstärkerteil; *16* Antriebsmotor

DDR-WP 141 000, Klasse B 24 B, Gruppe 49/00, 2 Anspruchspunkte, 2 Zeichnungen. Anmeldung: 2. August 1977. Ausgabe: 9. April 1980. Inhaber: *H. Buchholz, K. Ruggaber*

Die Erfindung bezieht sich auf eine adaptive Steuerungsanordnung für Schleifmaschinen, die es ermöglicht, eine leistungsbestimmende Größe auf einen extern optimierten Wert schnell hochzuregeln und im weiteren konstant zu halten. Speziell handelt es sich um eine Steuerung der Vorschubbewegung von Werkzeug oder Werkstück beim Schleifen in der Schruppphase mit einer adaptiven Schalteinrichtung. Das Bild zeigt ein Ausführungsbeispiel der Erfindung für das Einsteckschleifen, in der Patentschrift ist auch ein Beispiel für das Längsschleifen dargestellt.

Eine Meßeinrichtung *1*, die entweder die elektrische Schleifmotorleistung oder die Schleifkraft ermitteln kann, besteht aus einem Meßwertaufnehmer *2* und einem Verstärker *3*. Der Ausgang der Meßeinrichtung *1* liegt am Eingang eines in einem Zweipunktregler *4* integrierten Komparators *5*. Der zweite Eingang des Komparators *5* steht mit einer Sollwertvorgabeeinheit *6* in Verbindung. Der Ausgang des Komparators *5* ist an einem Verstärker *7* und parallel an dem Steuereingang eines Tores *8*, die beide zum Zweipunktregler *4* gehören, angeschlossen. Der Ausgang des Verstärkers *7* führt zu einem Flip-Flop *9*, dessen beide Alternativausgänge zur Sollwertvorgabeeinheit *6* führen. Der erste Ausgang des Flip-Flop *9* ist an einem Einstellwiderstand *10* für den Schaltpunkt der Anfunksteuerung und einem Einstellwiderstand *11* für den Arbeitsvorschub angeschlossen. Der zweite Ausgang des Flip-Flop *9* ist an einem Einstellwiderstand *12* für den Belastungsschwellwert der Auslastregelung und einem Einstellwiderstand *13* für die reduzierte Vorschubgeschwindigkeit angeschlossen. Die Abgriffe der Einstellwiderstände *10, 12* liegen über Entkopplungsdioden am zweiten Eingang des Komparators *5*.

Die Abgriffe der Einstellwiderstände *11*, *13* liegen über Entkopplungsdioden am Eingang des Tores *8*. Der Ausgang des Tores *8* und damit der Ausgang aus dem Zweipunktregler *4* ist auf einen Vorschubantrieb *14* geschaltet, der aus einem Verstärkerteil *15* und dem Antriebsmotor *16* besteht.

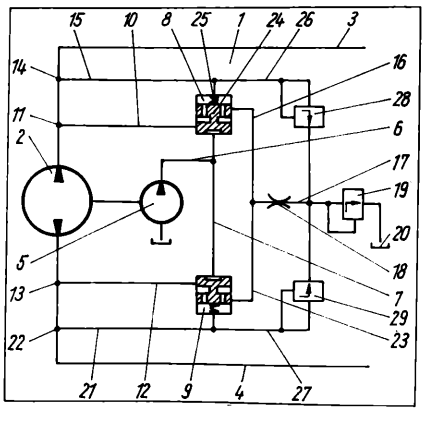
Die von der Meßeinrichtung *1* aufgenommenen Größen werden sowohl für die Anfunksteuerung als auch für die Auslastregelung verwendet. Für die Anfunkphase wird eine größtmögliche Anfahrgeschwindigkeit des Schleifsupportes vorgegeben. Totzeiten und Trägheit des Zustellantriebes können durch eine hohe Empfindlichkeit der Meßeinrichtung *1* in Verbindung mit der Voreinstellung relativ kleiner Schwellwerte für den Schaltpunkt kompensiert werden.

Der Komparator *5* erhält seine einstellbare Schalthysterese in der Anfunkphase durch den Einstellwiderstand *10*. Sobald das Werkzeug mit dem Werkstück in Berührung kommt und damit die Meßeinrichtung *1* ein Signal ausgibt, welches in seiner Größe dem vom Einstellwiderstand *10* vorgegebenen Signal gleichkommt, schaltet der Komparator *5* und sperrt das Tor *8*, womit die Eilganggeschwindigkeit, welche vom Einstellwiderstand *11* über das Tor *8* dem Vorschubantrieb *14* vorgegeben war, abgeschaltet wird. Gleichzeitig schaltet der Komparator *5* über den Verstärker *7* das Flip-Flop *9* in seine zweite Schaltstellung, womit der Einstellwiderstand *12* an den Eingang des Komparators *5* und der Einstellwiderstand *13* an das Tor *8* gelegt wird. Der vom Einstellwiderstand *12* veränderte Sollwert schaltet den Komparator *5* in seine Ausgangslage zurück, wodurch das Tor *8* wieder öffnet und der Vorschubantrieb *14* mit der vom Einstellwiderstand *13* vorgegebenen Arbeits-Vorschubgeschwindigkeit den Schleifsupport antreibt.

Tritt in der Bearbeitungsphase eine Überlastung auf, d. h. steigt die von der Meßeinrichtung *1* aufgenommene Schleifkraft oder Schleifmotorleistung auf einen Wert an, der größer ist als der vorgegebene Sollwert vom Einstellwiderstand *12*, schaltet der Komparator *5* erneut und sperrt das Tor *8*, wodurch der Vorschubantrieb 14 unterbrochen wird. Dadurch verschwindet die aufgetretene Überlast und der Komparator *5* schaltet wieder um, wodurch über das Tor *8* der Vorschubantrieb wieder zugeschaltet wird. Die Auslastregelung in dieser Zweipunktregelung ist beim Schleifen, im Gegensatz zu anderen Zerspanungsverfahren, wie Drehen und Fräsen, mit Vorteil anwendbar, da häufiges Zu- und Abschalten nicht eintritt. Dies liegt darin begründet, daß beim Schleifen die Schnittkräfte auch bei Abschalten des Vorschubes nur relativ langsam abfallen. Damit kann auf eine aufwendige Analogwert-Regelung verzichtet werden.

msr 7505

Hydrostatisches Getriebe



1 hydrostatisches Getriebe; 2 Arbeitspumpe; 3, 4 Hauptleitungen; 5 Speisepumpe, 6, 7, 10, 12, 15, 16, 17, 21, 23 Leitungen; 8, 9 Druckventile; 11, 13, 14, 22 Abzweige; 18 Drosseleinrichtung; 19, 28, 29 Druckbegrenzungsventile; 20 Behälter; 24 Tandemkolben; 25 Druckfeder; 26, 27 Bypaßleitungen

DDR-WP 140073, Int. Cl. F 16 H 39/04, 6 Anspruchspunkte, 2 Zeichnungen. Anmeldung: 27. November 1978. Ausgabe: 6. Februar 1980. Inhaber; *W. Tautenhahn, S. Hein*

In dem dargestellten hydrostatischen Getriebe *1* ist eine Arbeitspumpe *2* angeordnet, die über Hauptleitungen *3*, *4* in einem geschlossenen Kreislauf mit einem nicht dargestellten Hydromotor hydraulische Verbindung hat. Eine mit der Arbeitspumpe *2* gemeinsam angetriebene Speisepumpe *5* ist über Leitungen *6*, *7* mit Druckventilen *8*, *9* verbunden. Vom Druckventil *8* führt eine Leitung *10* zum Abzweig *11* der Hauptleitung *3*, während vom Druckventil *9* über eine Leitung *12* zum Abzweig *13* der Hauptleitung *4* Verbindung besteht. Von einem weiteren an der Hauptleitung *3* angeordneten Abzweig *14* führt eine Leitung *15* über das Druckventil *8*, nachgeordnete Leitungen *16*, *17*, eine Drosseleinrichtung *18* und ein Druckbegrenzungsventil *19* zu einem drucklosen Behälter *20*.

Analog zum Druckventil *8* ist das Druckventil *9* über eine Leitung *21* an einem Abzweig *22* mit der Hauptleitung *4* über eine Leitung *23* ebenfalls mit der Leitung *17* verbunden, die zum drucklosen Behälter *20* führt. Die Druckventile *8*, *9* weisen einen Tandemkolben *24* und eine Druckfeder *25* auf.

Bypaßleitungen *26*, *27* führen von den Leitungen *15* und *21* über je ein Druckbegrenzungsventil *28*, *29* zur Leitung *17*, in die sie zwischen der Drosseleinrichtung *18* und dem Druckbegrenzungsventil *19* einmünden. Wird die Hauptleitung *3* als Hochdruckseite und die Hauptleitung *4* als Niederdruckseite ausgelegt, drückt der in der Hauptleitung *3* anstehende Hochdruck über den Abzweig *14* und die Leitung *15* den Tandemkolben *24* des Druckventiles *8* in die dargestellte Lage. Die Leitungen *10* und *15* sind bei dieser Stellung des Kolbens *24* von den Leitungen *7* und *16* abgesperrt.

Der von der Speisepumpe *5* erzeugte Öldruck ist größer als der in der Hauptleitung *4* herrschende Niederdruck. Somit wird über die Leitungen *6*, *7* der Tandemkolben *24* des Druckventiles *9* entgegen der Kraft der Druckfeder *25* und des in der Leitung *21* anstehenden Niederdruckes beaufschlagt und verschiebt diesen. Damit kann der Ausspeisestrom von der Hauptleitung *4* über den Abzweig *22*, die Leitung *21* und das Druckventil *9* und weiter über die Leitungen *23* und *17*, die Drosseleinrichtung *18* und das Druckbegrenzungsventil *19* zum Behälter *20* fließen.

Die so aus dem Arbeitskreis abgeführte Spülölmenge wird durch die gleichzeitige Freigabe der Verbindung zwischen Speisepumpe *5*, Leitungen *6*, *7*, Druckventil *9*, Leitung *12*, Abzweig *13* und Hauptleitung *4* ergänzt.

Übersteigt der Druck in der Hauptleitung *3* eine bestimmte Höhe, öffnet das in die Bypaßleitung *26* eingebundene Druckbegrenzungsventil *28* und läßt den vorhandenen Überschuß des hydraulischen Mediums über das Druckbegrenzungsventil *19* in den Behälter *20* abfließen. Die Drosseleinrichtung *18* verhindert hierbei eine Beeinflussung der Stellung des Tandemkolbens *24* im Druckventil *9*.

msr 7520

Einfache Modelle kontinuierlicher Prozesse. Von *G. Brack*. Bd. 197 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1982. 76 Seiten, 57 Bilder, 5 Tafeln, 4,80 Mark.
Bestell-Nr. 553 140 3

Modelle als Widerspiegelung bestimmter Eigenschaften und Verhaltensweisen eines Originals können unter verschiedensten Aspekten entwickelt werden. Der Verfasser stellt sich mit dieser Veröffentlichung das Ziel, „einfache Modelle" — im Gegensatz zu quantitativen Modellen — zu behandeln. Hiermit ist es möglich, insbesondere die Wechselwirkung der verschiedenen veränderlichen Größen „durchsichtig" zu beschreiben und Entscheidungshilfen zur Strukturwahl von Automatisierungssystemen zu geben. Charakteristisch für diese einfachen Modelle soll der nur geringe Aufwand zur Erstellung sein. Für die Darstellung wird vorwiegend das Wirkungsschema eingeführt. Es dient zur qualitativen grafischen Darstellung bestimmter Kausalzusammenhänge und hat weitgehende Ähnlichkeiten mit dem Signalflußgraph.
In den einleitenden Abschnitten werden die Grundlagen dieser Beschreibungsmethode dargestellt (Wirkungsschema und Signalflußgraph, Kausalität, Bilanzgleichungen, Druck und Temperatur, parametrische Steuerungen, Vereinfachung und Auswertung von Signalflußgraphen).
Der zweite Abschnitt befaßt sich mit den Prinzipien und den Elementen einfacher Prozeßmodelle, wie Ströme, Bilanzen, Speichervorgänge, technische Arbeitsleistung, Stoff- und Wärmeübergang sowie gekoppelte Speichervorgänge und Phasengleichgewichte. Reichlich die Hälfte des Umfanges ist Beispielen vorbehalten. Im Abschnitt 3 werden Wirkungsschemata und Signalflußgraphen häufig vorkommender Prozeßelemente (Stofftransport, Stellglieder, Pumpen und Verdichter, Kraftmaschinen, Verdampfung, Wärmeübertragung), im Abschnitt 4 einfache Modelle komplizierterer kontinuierlicher Prozesse (Dampfkraftwerk, Destillationskolonne, Klimaanlagen) hergeleitet.
Wenn dieser Band auch nicht den Anspruch erhebt, endgültige Prozeßmodelle zu liefern, so geben doch die Darstellungen eine sehr gute Hilfe beim ersten Modellentwurf, der vielfach in späteren iterativen Bearbeitungsstufen eine Vervollständigung erfährt.
Alle die, die sich mit der Modellentwicklung technischer Prozesse zu befassen haben, ob Studenten oder in der Praxis tätige Ingenieure, werden aus diesem Band viele Anregungen erfahren können.

B 1613 *W. Fritzsch*

Analyse und Synthese kontinuierlicher Steuerungssysteme. 2. bearb. Auflage. Von *K. Reinisch*. Berlin: VEB Verlag Technik 1982. 420 Seiten, 271 Bilder, 21 Tafeln, 32,— Mark.
Bestell-Nr. 553 107 5

Gegenüber der 1979 erschienenen und gut aufgenommenen 1. Auflage haben sich Charakter, Inhalt und Aufbau nicht verändert. Die 2. Auflage unterscheidet sich von der ersten lediglich durch einige kleine Ergänzungen. So wurden die Begriffe der Stabilisier- und Erkennbarkeit und ein geraffter Überblick, der auf neuere Möglichkeiten der Störunterdrückung bei Mehrgrößenregelungen aufmerksam macht, eingefügt. Außerdem erfuhren die als Hinweis auf derzeit erkennbare Entwicklungsrichtungen auf dem Gebiet dezentraler Regelungen gedachten Ausführungen am Ende des Buches eine Überarbeitung.
Als erfahrener Hochschullehrer hat der Autor den Band in erster Linie als Lehrbuch konzipiert, das in recht ausführlicher Form die Methoden der Regelung kontinuierlicher, überwiegend linearer Systeme beinhaltet. Es werden sowohl die von der mathematischen Beschreibung mit Zustandsvariablen ausgehenden Methoden des Zeitbereiches als auch die Frequenzbereichsmethoden umfassend und zusammenhängend behandelt. Die Rahmengliederung des Bandes, I. Analyse (etwa 80 S.), II. Identifikation (etwa 90 S.), III. Synthese (etwa 200 S.) ist beibehalten worden.

Da der Grundlagenband „Kybernetische Grundlagen und Beschreibung kontinuierlicher Systeme" vom gleichen Autor die mathematischen Methoden zur Beschreibung des Signalübertragungsverhaltens von automatischen Steuerungen und deren grundlegende Eigenschaften bereits eingeführt hat, kann der Teil I. Analyse nur auf ausgewählte wichtige Analyseprobleme beschränkt werden.
Der Autor geht auf die Fragen der Steuer- und Beobachtbarkeit sowie Stabilisier- und Erkennbarkeit, auf die Herausarbeitung des für Steuerungsaufgaben zentralen Stabilitätsproblems sowie auf die für die Stabilitätsanalyse wichtigen Methoden ein. Hierbei werden notwendige Strenge in der Problemformulierung mit verständlicher Anleitung für den praktischen Gebrauch der entwickelten Methoden gekoppelt. Der Leser erkennt weiter die Notwendigkeit und Bedeutung der Berücksichtigung von Nichtlinearitäten bei der Stabilitätsanalyse realer Regelungssysteme, ohne daß er über Gebühr mit einer nichtlinearen Stabilitätsmathematik belastet wird.

Der Teil II des Buches beginnt mit einem Überblick über Probleme, Aufgaben und Bedeutung der Identifikation. Auf relativ breitem Raum werden die wichtigsten Methoden der experimentellen deterministischen Systemidentifikation vornehmlich bei einem Ein- und Ausgang im störungsarmen Fall dargestellt, wobei auf Voraussetzungen, Eigenschaften, Vorzüge, Nachteile der Methoden hingewiesen wird. Das Spektrum ist weitgefaßt. Es reicht von den klassischen Verfahren der Kennwertermittlung bis hin zu adaptiven Identifikationsverfahren mit automatischem Abgleich. Der Band gewinnt hier seinen leichten Handbuchcharakter.

Der Teil II schließt mit der Vermittlung einiger allgemeiner Prinzipien der theoretisch-analytischen Modellbildung und der Konstruktion von Signalflußgraphen.

Der Übergang zum Schwerpunkt des Teiles III, d. h. zum Entwurf und zur Bemessung von Regelkreisen mit Methoden, die pauschal als Handverfahren zu bezeichnen sind, läßt die Einheit von Identifikation und Entwurf deutlich werden. Besonders hervorgehoben werden muß die tiefgründige und umfassende Darstellung zu Bemessungsverfahren für einschleifige Regelkreise. Damit wendet sich dieser Teil nicht nur und in erster Linie an den in der Ausbildung stehenden, sondern auch an den praktisch tätigen Regelungstechniker. Der gefundene Kompromiß zwischen rezeptförmiger Aufbereitung und Wahrung der methodischen Linie erscheint günstig. Sehr zu begrüßen ist auch, daß der Autor dem Problem der Empfindlichkeit bereits im Zusammenhang mit dem Entwurf und den Entwurfszielstellungen einschleifiger Kreise den gebührenden Platz einräumt.
In weiteren Abschnitten legt der Autor Probleme und Methoden des Entwurfs von Mehrgrößenregelungen dar, wobei die sog. klassischen Methoden des Frequenzbereiches, die wichtigsten Grundprinzipien der Polzuweisung und der Grundgedanke der Optimalsteuerung bei quadratischen Gütefunktionalen, d. h. Zustandsrückführungen einschließlich der Beobachterproblematik, angesprochen und umrissen werden. Die letzteren beinhalten eine derart große Problemfülle, so daß die Ausführungen hierzu oft nur ein einführender Überblick, eine Kurzcharakteristik und ggf. eine Ergebnisdarstellung mit knapper Interpretation sein können.

Insgesamt wird mit dem Buch in abgerundeter Form das Gebäude der Theorie der Regelung kontinuierlicher Systeme errichtet. Der Autor hat mit der getroffenen Stoffauswahl und der methodisch und pädagogisch geschickten textlichen Darstellung ein empfehlenswertes Hochschullehrbuch zu dieser Hauptsäule der Technischen Kybernetik geschaffen. Die auf eine Anleitung zum praktischen Gebrauch ausgerichtete Dar-

stellung einer Vielzahl von gesicherten Methoden der Analyse und Synthese kontinuierlicher Regelungssysteme wird auch in starkem Maße den bereits tätigen Regelungstechniker ansprechen. Die Ausstrahlungskraft der gediegenen Darstellung wird auch auf mathematisch-naturwissenschaftlichen und anderen nichttechnischen Gebieten, in denen der Steuerungsaspekt zunehmend an Bedeutung gewinnt, Tätige erreichen.
Der Band wird durch das bereits erschienene zugehörige Arbeitsbuch für Studienzwecke gut ergänzt.

B 1575 *U. Korn*

Basic Electronics: Devices, Circuits and Systems. Von *M. M. Cirovic.* London: Prentice-Hall International. Inc. 1979. 568 Seiten, 515 Bilder, 21 Bauelementedatenblätter.

Das Buch umfaßt einen elementaren Einführungskurs in die Elektronik. Zum Studium dieses Kurses sind lediglich einige wenige Vorkenntnisse der elementaren Elektrotechnik (Stromkreisberechnungen) erforderlich. Die Methode der Analyse elektronischer Schaltungen beruht auf stark vereinfachten algebraischen Gleichungen, so daß auch mathematisch keine Anforderungen gestellt werden. Der Stoff ist in 3 Hauptteile gegliedert: Bauelemente, Schaltungen und Systeme. Bei den Bauelementen werden vor einem sehr einfachen physikalischen Hintergrund die Strom-Spannungs-Beziehungen und Kenngrößen von Halbleiterdioden, Transistoren, Thyristoren und optoelektronischen Elementen besprochen. Im Teil über Schaltungen werden insbesondere einfache Dioden (Gleichrichter und Impulsformer)-Schaltungen, Verstärker, Oszillatoren sowie kombinatorische und sequentielle Grundschaltungen der Digitaltechnik mit Hilfe stark vereinfachter Ersatzschaltbilder analysiert. Unter „Systemen" werden in diesem Buch komplexere Schaltungen — vorzugsweise mit Bipolartransistoren — wie Stromversorgungs-, Empfänger-, Operationsverstärker-, D/A- und A/D-Konverterschaltungen sowie Adder, Dekoder, Zähler, Multiplexer verstanden. Der Inhalt dieses Buches ist auch für Interessenten nichtelektronischer Fachrichtungen geeignet. Durch eine ausgezeichnete pädagogische und übersichtliche Darstellung ohne viele Rechnungen und verwirrende Details kann der Anfänger den über 500 Seiten ohne Ermüdung folgen.

B 1510 *A. Möschwitzer*

Optimierung der Entscheidungsfindung bei der Produktionssteuerung. Von *V. V. Titov* (in Russ.). Novosibirsk: Nauka (Sibirskoe otdelenie) 1981. 272 Seiten, 6 Tafeln.

Die Vervollkommnung von Leitung und Planung in Industriebetrieben ist unter den gegenwärtigen Bedingungen von hervorragender volkswirtschaftlicher Bedeutung. Industriebetriebe stellen als Steuerobjekte komplizierte kybernetische Systeme dar, die gekennzeichnet werden können als große, dynamische, stochastische Systeme mit mehreren Zielen. Ihre erfolgreiche, effektive Steuerung erfordert eine Kompliziertheit des Steuerungssystems vergleichbar mit der des Steuerobjektes. Erschwert wird die Steuerung noch durch die Wirkung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, der die Produktionsmaßstäbe erweitert, die Produktivkräfte und Produktionsmittel sowie insbesondere die Konstruktion der Erzeugnisse ständig komplizierter gestaltet.
Ziel der Monographie ist es, für die Planungs- und Leitungspraxis mit Hilfe eines ASUP entsprechend konkrete und effektive Ergebnisse vorzulegen, wobei sich der Autor auf den Maschinenbau konzentriert. Nach der Behandlung der Probleme der Optimierung der innerbetrieblichen Planung, wobei insbesondere ein Modell der Optimierung des Produktionsprogramms sowie ein nichtlineares Produktionsplanoptimierungsmodell entwickelt wird, legt der Autor für die Durchführung von Variantenrechnungen bei der Perspektiv- und Jahresplanung ein mathematisches Modell des Betriebes in Form eines Simulationsmodells für das ASU „Sigma" dar. Zur Optimierung der operativen Produktionsplanung und -lenkung ist darüber hinaus ein hierarchisches System von Simulations- und Optimierungsmodellen enthalten, das im realen Regime unter den Bedingungen eines ASUP arbeiten kann. Die Effektivität des Gesamtsystems wird durch eine verallgemeinerte Kenngröße der volkswirtschaftlichen Effektivität der Produktion bewertet.

B 1579 *J.-A. Müller*

Nichtlineare Regelungen II. Anwendung der Zustandsebene, Ljapunov-Theorie, Popov-Kreiskriterium. Von *O. Föllinger.* Berlin: Akademie-Verlag 1981. 273 Seiten, 175 Bilder, 15 Übungsaufgaben, 34,— Mark.

Die Vervollkommnung der modernen Steuerungsgeräte macht die Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme wieder interessant. Daher ist es zu begrüßen, daß die bekannten Bände des Verfassers nach 10 Jahren wieder aufgelegt wurden. Da es eine geschlossene Theorie nichtlinearer Systeme nicht gibt, ist es nötig, jeweils anhand bestimmter Methoden Eigenschaften nichtlinearer Systeme zu untersuchen.
Im Buch fallen gegenüber der Auflage vor 10 Jahren eine Reihe interessanter Anwendungen auf, die im Rahmen der von der Methode gesetzten Grenzen betrachtet werden; z. B. Strukturumschaltungen, zeitoptimale Systeme, stetigähnliche Regler, Walzenanstellung in einer Blockstraße, Umschaltstrategie durch Ljapunov-Funktionen. Das Buch ist nach Anlage und Methode kein elementares Lehrbuch; es gibt aber eine Reihe verallgemeinerungsfähiger Erkenntnisse, die auch zu eigenem Nachdenken veranlassen. Es wäre kein Fehler gewesen, einige moderne Aspekte zu betrachten, z. B. die Verwendung allgemeiner Zustandsgrößen bei den Trajektorien, weitere Anwendungen der Theorie von *Ljapunov* und *Popov* auf moderne Steuerungen (z. B. adaptive Systeme), Probleme der Entkopplung nichtlinearer Mehrgrößensysteme. Mit Rücksicht auf die moderne Rechentechnik wäre auch eine Betrachtung mit diskontinuierlichen Größen geeignet.
Diese Hinweise sollen allerdings nur Anregungen sein, da hier bisweilen die Theorie noch in der Entwicklung ist. Da das Buch gediegene Grundlagen gibt, auch moderne Betrachtungen zu erarbeiten, und da viele Anwendungen der praktischen Regelungstechnik auf den Leib geschrieben sind, ist es allen zu empfehlen, die mit der Regelungstechnik zu tun haben.

B 1574 *K. Göldner*

Höhere Programmiersprachen im Vergleich. Eine Einführung. Von *R. Hahn.* Wiesbaden: Akademische Verlagsgesellschaft 1981. 281 Seiten, zahlr. Bilder und Tafeln.

Die rasche Entwicklung auf dem Gebiet der Programmiersprachen läßt ordnende, aufbereitende Literatur als sehr wünschenswert erscheinen. Der Titel von *R. Hahn* hat die Darstellung wesentlicher Konzepte bekannter höherer Programmiersprachen aus Anwendersicht zum Ziel. Als Beispielsprachen dienen ADA, ALGOL 60, ALGOL 68, BASIC, COBOL, ELAN, FORTRAN, PASCAL, PL/1, PLZ/SYS und SIMULA 67.
Die Sprachen werden nicht einzeln (in sich geschlossen) betrachtet, sondern es werden bestimmte Sprachkonzepte, Konstruktionsprinzipien, Nutzungsaspekte herausgearbeitet, und es wird jeweils deren Reflexion in den genannten Beispielsprachen diskutiert.
In der Einführung werden allgemeine Fragen des Einsatzes und der Implementierung (höherer) Programmiersprachen kompakt dargelegt, wobei zugleich eine Bestimmung wichtiger Begriffe vorgenommen wird. Abschnitt 2 betrachtet Entwicklungstendenzen und Anforderungen an die Sprachen, während Abschnitt 3 die Auswahl der genannten Beispielsprachen motiviert und ihre Entstehung skizziert. Abschnitt 4 behandelt Fragen der Lexik, Abschnitt 5 Objektmodelle und Objekte (im Sinne der Programmierung), Abschnitt 6 Datentypen und Abschnitt 7 Deklarationen. Abschnitt 8 befaßt sich mit Laufzeitkonstruktionen (Anweisungen, Aus-

drücke) und Abschnitt 9 mit der Unterprogrammtechnik, wobei zugleich Fragen der kollateralen und parallelen Abarbeitung betrachtet werden.
Die nachfolgenden Abschnitte 10 bis 14 behandeln stärker implementierungsspezifische Fragen (in ihrer problemorientierten Widerspiegelung und Motivierung). Neben Prinzipien der Speicherorganisation (Abschnitt 10) werden insbesondere Moduln (Abschnitt 11) und abstrakte Datentypen (Abschnitt 12) diskutiert. Referenzen, Zeiger und Heap-Datenobjekte sind Betrachtungsgegenstand in Abschnitt 13, während sich der letzte Abschnitt 14 mit der Behandlung von Ausnahme- und Fehlersituationen befaßt. Der Literaturnachweis ist mit über 240 Zitaten vergleichsweise ausführlich; eine Aufgliederung der Zitate nach inhaltlichen Aspekten soll das Nachschlagen erleichtern, was jedoch eine eindeutige Zuordnung eines Zitats zu den Gliederungsaspekten voraussetzt.
Der Nutzen der Darstellung für das Erlernen und Beherrschen höherer Programmiersprachen ist ausdrücklich hervorzuheben. Als vorbereitende und zusätzliche Lektüre neben dem entsprechenden Programmierlehrbuch (oder -handbuch) für eine zu erlernende Sprache vermittelt es wertvolles Übersichtswissen und ermöglicht dem Lernenden eine bessere Einordnung von allgemeingültigen oder speziellen Konzepten. Der Umstand, daß man heute mit Kenntnissen in nur einer Programmiersprache meist nicht auskommt, verschärft diese Aussage. Die Darstellung bringt vergleichende Wertungen in sachlicher Form und meidet polemische Schärfe. Sie ist klar gegliedert und liest sich gut. Die äußere Gestaltung ist ansprechend. Das Buch ist informativ für jeden, der sich für das Gebiet der problemorientierten Programmierungstechnik interessiert.

B 1537 *G. Stiller*

Kombinierte Versuchsplanung. Von *V. P. Malysev* (in Russ.). Alma-Ata: Nauka Kaz. SSR 1981. 120 Seiten, 49 Bilder, 20 Tafeln.

Die im Rahmen der Versuchsplanung am weitesten verbreiteten vollständigen Faktorpläne sind mit der gewählten Form der Regressionsbeziehung eng verbunden. Die mit ihrer Hilfe erhaltenen Ergebnisse haben lediglich im Rahmen der Hypothesen Gültigkeit, nicht interpretierbare Ergebnisse, z. B. negative Werte, Werte über 100%, aber auch Ergebnisse, die sich für die Faktorwerte identisch Null ergeben, beruhen oft in der unzureichenden Beachtung dieser engen Grenzen.
Dieser Mangel wird oft als Grund angeführt, um auf eine „physikalische" Modellierung auszuweichen, bei der, ausgehend von den Kausalbeziehungen zwischen den wesentlichen Faktoren, die physikalischen Gesetzmäßigkriten mathematisch formuliert werden. Ein solch determiniertes Herangehen findet insbesondere bei komplizierten Systemen mit vielen Faktoren schnell seine Grenzen.
Der Autor versucht, eine Methode („wahrscheinlichkeitstheoretisch-determinierte Versuchsplanung") zu entwickeln, die die starre Beziehung einerseits zwischen Versuchsplan und Regressionsbeziehung bei einem statistischen Herangehen an die Modellierung und andererseits zwischen Axiomensystem und mathematischem Modell bei der determinierten Herangehensweise überwindet. Nach seiner Überzeugung darf die Untersuchung der Ursache-Wirkungsbeziehungen nicht der statistischen Herangehensweise entgegengesetzt werden.
Strukturelle Grundlage für seine neue Methodik sind Lateinische Quadrate entsprechender Ordnung. Die Verarbeitung der dabei erhaltenen Realisierungen führt jedoch nicht zur Ermittlung von Regressionsgleichungen. Vielmehr werden in den Versuchspunkten schrittweise eindimensionale partielle Modelle erarbeitet, deren mathematische Struktur von der A-priori-Information, graphischen Anschauung sowie erreichten Anpassung (gemessen z. B. über den Korrelationskoeffizienten) bestimmt wird. Das Gesamtmodell ergibt sich durch multiplikative Verknüpfung entsprechend der Gleichung nach *Protod'jakonov*.
Insgesamt ist diese empirische Strategie der Modellbildung weitgehend theoretisch unbegründet, auch fehlt der Vergleich mit anderen Verfahren, die die genannten Schwierigkeiten zu überwinden versuchen. z. B. Selbstorganisation. Die angeführten Beispiele zeigen jedoch die Leistungsfähigkeit der Methodik.

B 1581 *J. Peters*

M-S-R Messen, Steuern, Regeln in der Kunststoffverarbeitung. Lieferung 6: Messen beim Wickeln; Messen beim Schäumen; Messen beim Umformen. Herausgegeben vom Institut für Kunststoffverarbeitung an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Leitung *G. Menges*. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1981. 224 Seiten.

Die Unterlagen sind nach Anwendungsgebieten bei der Kunststoffverarbeitung gegliedert. Für die Operation „Wickeln" werden Meßverfahren und -geräte zur Erfassung der Meßgrößen Temperatur, Weg, Geschwindigkeit, Drehzahl, Viskosität und mechanische Spannung beschrieben; für die Operation „Schäumen" die Messung von Druck, Temperatur, Weg, Zeit, Durchsatz und Gasbelastung, für die Operation „Umformen" wiederum Druck, Temperatur, Weg, Zeit und Stückzahl. Meßverfahren für bestimmte Größen werden somit mehrfach, mit z. T. identischen Formulierungen und Abbildungen behandelt; der Sinn dieser materialaufwendigen Darstellung liegt darin, dem Betriebspraktiker die zur Lösung seiner speziellen Aufgabe notwendige Information unmittelbar in die Hand geben zu können (wörtlich zu nehmen: Loseblattsammlung!). Die Darstellung erfolgt praxisbezogen, allgemeinverständlich, auf Facharbeiterniveau. Nach einer kurzen Einführung in die Prinzipien der Messung der jeweiligen Größe werden verschiedene Meßfühler und Geräte in ihren Anwendungseigenschaften beschrieben. Herstellerverzeichnisse und Prospektangaben ausgewählter Geräte runden die Unterlagen zu jeder einzelnen Meßgröße ab. Das Beispiel der Druckmessung (behandelt werden piezoelektrische, piezoresistive, magnetoelastische, kapazitive und induktive Wandlerprinzipien sowie solche mit Dehnungsmeßstreifen, Rohrfedermanometer, Plattenfedermanometer, Schneckenfedermanometer) zeigt, daß alle praxisbewährten Meßverfahren behandelt werden, jeweils unter den Aspekten der Anwendbarkeit für die verarbeitungstechnische Teilaufgabe. Natürlich ist die Zusammenstellung nicht für den Meßtechniker gedacht. Der Verarbeitungstechniker, der ohne meßtechnische Unterstützung entsprechende Aufgaben mit bearbeiten muß, wird die drucktechnisch hervorragend ausgestatteten Unterlagen sicher als wertvolle Hilfe begrüßen.

B 1551 *G. Brack*

Probleme der zufälligen Suche. Band 8 (in Russ.). Von *L. A. Rastrigin* (Hrsg.). Riga: Zinatne 1981. 304 Seiten, 42 Bilder, 27 Tafeln.

Dieser Sammelband ist in seiner Art die 16. Buchpublikation aus Riga, in der die neuesten Ergebnisse auf dem Gebiet der stochastischen Suchverfahren veröffentlicht werden. Traditionsgemäß enthält er in einem Teil Arbeiten, die theoretischen Grundproblemen gewidmet sind, während der zweite Teil praktischen Problemen der Anwendung stochastischer Suchverfahren gewidmet ist. Neuartig für diesen Band ist, daß insbesondere zur Optimierung von Informationssystemen Arbeiten vorgestellt werden.
Der theoretische Teil enthält Beiträge zu den gegenwärtig aktuellen Problemen auf dem Gebiet der Suchverfahren, wie zur Existenz und Effektivität optimaler Algorithmen, zu den Konvergenzbedingungen stochastischer Suchverfahren einschließlich ihrer lokalen Eigenschaften, zum Rauscheinfluß, zur Optimierung bei vorliegenden Nebenbedingungen in Form von Ungleichungssystemen sowie zur globalen Optimierung.
Bei der Anwendung geht es um die Optimierung und Adaption von Systemen zur Kodierung und Übertragung von

Daten, zur Ermittlung der Dispatcherdisziplin in Rechnersystemen. Es zeigt sich, daß ein Rechnersystem ein wichtiges und äußerst kompliziertes Anwendungsgebiet für die stochastischen Suchverfahren ist. Da derartige Systeme im allgemeinen nicht allzu viele Parameter enthalten, kommt dabei insbesondere eine strukturelle Adaption in Frage, die nach *Rastrigin* in alternative Adaption und Evolutionsadaption zu unterteilen ist.
Darüber hinaus enthält der Sammelband einige Arbeiten zur Anwendung in der Theorie des Experiments, z. B. Algorithmen zur Synthese von Faktorplänen, zur Struktur des Dialogs im Prozeß der Synthese optimaler Versuchspläne sowie eine Überblicksarbeit zu einigen Problemen der Adaption des Modells eines Objekts der Projektierung.

B 1582 *J.-A. Müller*

Input-Output Analysis of Large-Scale Interconnected Systems. Decomposition, Well-Posedness and Stability. Von *M. Vidyasagar*. Westberlin/Heidelberg/New York: Springer-Verlag 1981. 221 Seiten.

Das Buch ist eine auf hohem mathematischem Niveau stehende Monographie, in der auf konkrete Anwendungsfälle nicht eingegangen wird. Vielmehr will das Buch einen Beitrag zur Weiterentwicklung der Theorie für Großsysteme leisten. Dabei wird das Großsystem (LSS) als verkoppeltes System betrachtet, das durch die Subsystem-Operatoren seiner Teilsysteme und durch Verkopplungs-Operatoren, die die Kopplungen zwischen den Teilsystemen charakterisieren, beschrieben wird.
Unter „Well-Posedness" eines LSS subsummiert der Autor die Eigenschaften

- Existenz und Eindeutigkeit der Lösung der Systemgleichungen
- kausale Abhängigkeit der Lösung von den Eingangsgrößen
- globale Lipschitz-Stetigkeit der Lösungen als Funktionen der Eingangsgrößen.

Die Formulierung des Eingangs-Ausgangs-Stabilitätsproblems schließt an die vor etwa 15 Jahren veröffentlichten Publikationen von *I. W. Sandberg* und *G. Zames* an.
Nach einer kurzen Einführung werden im Kapitel 2 die für das Studium des Buches notwendigen Grundbegriffe — Truncations (Stutzungen), erweiterte Räume, Kausalität, Well-Posedness und Stabilität — mathematisch exakt formuliert. Im Kapitel 3 werden die Begriffe Gain (Verstärkung) und Dissipativität, die eine wichtige Rolle für die verschiedenen Stabilitäts- und Instabilitäts-Kriterien spielen, eingeführt sowie Methoden zu ihrer Ermittlung angegeben. Der Zusammenhang zwischen Dissipativität und Passivität, einem aus der elektrischen Netzwerktheorie bekannten spezielleren Begriff, wird aufgezeigt.
Im Kapitel 4 erfolgt die graphentheoretische Zerlegung des Systems in stark zusammenhängende Komponenten. Um die Eigenschaften Well-Posedness und Stabilität zu studieren, genügt es, nur die stark zusammenhängenden Komponenten zu betrachten. Im Kapitel 5 werden hinreichende Bedingungen für die Well-Posedness bewiesen. Diese sind ihrem Wesen nach strukturell und basieren auf graphentheoretischen Überlegungen. Zeitdiskrete und zeitkontinuierliche Systeme werden im Kapitel 5 parallel behandelt, während in den nachfolgenden Teilen des Buches zeitdiskrete Systeme nicht mehr explizit erwähnt werden. Im Kapitel 6 werden mehrere hinreichende Bedingungen für die L_p-Stabilität (mit $1 \leq P < \infty$) von LSS aufgestellt und bewiesen, die sich im Falle einfacher rückgekoppelter Systeme auf die bekannten Small-Gain-Theoreme von *Sandberg* und *Zames* reduzieren. Diese Ergebnisse basieren grundsätzlich auf Schlimmst-Fall-Betrachtungen hinsichtlich des Einflusses der Verkopplungen und liefern daher konservative Stabilitätskriterien. Weniger konservative Ergebnisse ergeben die Stabilitätskriterien vom Dissipativitätstyp, die im Kapitel 7 untersucht werden. Diese setzen jedoch die Existenz eines inneren Produkts voraus und sind daher nur zum Studium der L_2-Stabilität geeignet. Kapitel 8 liefert L_2-Instabilitätsaussagen sowohl vom Small-Gain- als auch vom Dissipativitätstyp. Im Kapitel 9 werden diese Ergebnisse auf die L_∞-Instabilität unter Verwendung der Technik der exponentiellen Gewichtsfunktionen erweitert.
Das Buch stellt eine recht umfassende Monographie über die theoretischen Grundlagen der Eingangs-Ausgangs-Analyse von LSS dar. Die meisten Beweise werden vollständig wiedergegeben, so daß sich frühere, auf schwer zugängliche Spezialliteratur verstreute Resultate als Spezialfälle ergeben. Das Studium des Buches setzt vom Leser kaum Vorkenntnisse der Theorie der automatischen Steuerung voraus, wohl aber eine moderne mathematische Ausbildung, insbesondere weitgehende Kenntnisse auf dem Gebiet der Funktionalanalysis.

B 1549 *K. Reinschke*

Mikroprozessoren und Mikrorechner und ihre Anwendung in der Automatisierungstechnik. Einführung in Hard- und Software. Von *H. Birk* und *R. Swik*. München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1980. 283 Seiten, 114 Bilder.

Das Buch entstand als Zusammenfassung eines in den Zeitschriften „rtp — Regelungstechnische Praxis" und „tm — Technisches Messen" von 1978 bis 1980 veröffentlichten „Mikroprozessor-Lehrganges". Seine Herausgabe resultierte aus dem starken Interesse an diesem „Lehrgang". Es stellt eine grundlegende Einführung in Struktur, Aufbau und Programmierung von Systemen mit Mikroprozessoren unter besonderer Beachtung des Anwendungsgebietes der Automatisierungstechnik dar.
Der Mikroprozessor wird hier mehr als systemtechnische Komponente, weniger als elektronische Baueinheit, mit dem dazugehörigen Wissen behandelt, um so langlebige Grundkenntnisse dieser sich rasch entwickelnden Technik zu vermitteln.
Das Buch setzt lediglich elementare Grundkenntnisse der Digitaltechnik voraus; es vermittelt gleichzeitig wichtige deutsch- und englischsprachige Fachausdrücke des Gebietes der Mikroprozessoren und Mikrorechner.
Eine gewisse Kontrolle über das Verständnis zum behandelten Stoff wird dem Leser durch etwa 40 Übungsfragen mit Lösungen ermöglicht.
Der übersichtlich geordnete und gut verständlich dargestellte Stoff dieses Buches ist sowohl für die Ausbildung als auch für die praktische Tätigkeit geeignet.

B 1573 *H. Töpfer*

Schutz elektrischer Systeme gegen äußere Beeinflussungen (Elektromagnetische Verträglichkeit — EMV). Herausgegeben von *K. Fleck*. Westberlin: VDE-Verlag GmbH 1981. 120 Seiten, zahlr. Bilder und Tafeln.

Mit dem raschen Vordringen verbindungsprogrammierter und speicherprogrammierter Elektronik in weite Bereiche der industriellen Automatisierung sowie des Rationalisierungsmittelbaus werden in zunehmendem Maße Entwickler, Projektanten und Konstrukteure mit der Problematik der elektromagnetischen Verträglichkeit konfrontiert. In der Broschüre sind insgesamt vier Vorträge zu dieser Thematik enthalten, und zwar:

1. *Stoll, D.:* Problemkreis Elektromagnetische Verträglichkeit, Entstehung der Beeinflussung, Störquellen, Auswirkungen.
2. *Hasse, P.:* Schutz von Niederspannungsanlagen mit elektronischen Geräten vor Überspannungen.
3. *Bürskens, H.:* Maßnahmen zur Störsicherheit elektronischer Meß-, Steuerungs- und Regel-(MSR-)einrichtungen.
4. *Chun, E. A.:* Meßtechnik und Normung im EMV-Bereich, neue Methoden und Tendenzen zum Schutz elektronischer Systeme.

Sie vermitteln auf der Grundlage einfacher Modellvorstellungen sowie anhand zahlreicher praktischer Beispiele einen sehr anschaulichen Einblick in die wichtigsten Fragen der Entstehung, Vermeidung sowie der meßtechnischen Erfassung elektrischer Störbeeinflussungen. Die Broschüre ist allen Technikern und Ingenieuren zu empfehlen, die sich mit dem Entwurf, der Konstruktion sowie der Anwendung elektronischer Betriebsmittel zu befassen haben.

B 1576 *E. Habiger*

27. IWK der TH Ilmenau im Oktober 1982

Vom Montag, dem 25. bis Freitag, dem 29. Oktober 1982, findet an der TH Ilmenau das 27. Internationale Wissenschaftliche Kolloquium mit starker nationaler und internationaler Beteiligung statt. Von der Sektion Technische und Biomedizinische Kybernetik wurden hierzu folgende Sitzungen mit jeweils 5 bis 7 Vorträgen vorbereitet:

Vortragsreihe A 1: Analyse, Optimierung und Automatisierung technischer und nichttechnischer Prozesse

A 1.1 Steuerung komplexer Systeme

A 1.1-1 Hierarchische Steuerungen 1 — Mo nm
A 1.1-2 Hierarchische Steuerungen 2 — Di vm
A 1.1-3 Optimale Steuerungen — Mi vm
A 1.1-4 Prozeßanalyse und -steuerung bei Unsicherheit — Mo nm

A 1.2 Regelungsmethoden

A 1.2-1 Dezentrale Regelungen — Do vm
A 1.2-2 Adaptive Regelungen — Do nm
A 1.2-3 Spezielle und Mehrgrößenregelungen — Fr vm

A 1.3 Experimentelle Prozeßanalyse

A 1.3-1 Methoden der experimentellen Prozeßanalyse 1 — Di vm
A 1.3-2 Methoden der experimentellen Prozeßanalyse 2 — Mi vm
A 1.3-3 Methoden der experimentellen Prozeßanalyse 3 — Do vm

A 1.4 Prozeßautomatisierung mit Mikrorechnern

A 1.4-1 Multiprozessorsysteme zur Prozeßautomatisierung — Mo nm
A 1.4-2 Digitale Regelungen — Di vm
A 1.4-3 Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern 1 — Do vm
A 1.4-4 Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern 2 — Do nm
A 1.4-5 Ausbildung in der Prozeßautomatisierung mit Rechnern — Fr vm

A 1.5 Robotersteuerung

A 1.5-1 Robotersteuerung 1 — Mi vm
A 1.5-2 Robotersteuerung 2 — Do vm

A 1.6 Steuerung von energetischen und fertigungstechnischen Prozessen

A 1.6-1 Automatisierung energetischer Prozesse — Di vm
A 1.6-2 Automatisierung von Fertigungsprozessen — Do nm

A 1.7 Modellbildung und Steuerung von wasser- und landwirtschaftlichen Prozessen

A 1.7-1 Modellbildung und Steuerung von wasserwirtschaftlichen Prozessen 1 — Do nm
A 1.7-2 Modellbildung und Steuerung von wasserwirtschaftlichen Prozessen 2 — Fr vm
A 1.7-3 Modellbildung und Steuerung von landwirtschaftlichen Prozessen — Fr vm

A 1.8 Sondersitzung

Steuerung in Organismen (einstündiger Einzelvortrag) — Mi nm

Vortragsreihe A 2: Entwurf, Analyse und Einsatz von informationsverarbeitenden Geräten und Systemen

A 2.1 Beschreibungssprachen — Mo nm
A 2.2 Fachsprachen und Betriebssysteme — Di vm
A 2.3 Mikroprozessorsysteme — Mi vm
A 2.4 Programmierbare Steuerungen — Mi vm
A 2.5 Fehlerdiagnose, Prüfverfahren und Selbsttestung — Do vm
A 2.6 Entwurf komplexer Systeme — Do nm
A 2.7 Anwendung von Mikroprozessoren und Mikrorechnern — Do nm
A 2.8 Entwurf von Mikroprozessorgeräten — Fr vm
AP Posterbeiträge zur Reihe A 2 — Mi vm

Rundtischgespräch: Entwicklungstendenzen von Mikroprozessor-Systemarchitekturen — Mi nm

Vortragsreihe A 3: Prozeßmeß- und Sensortechnik

A 3.1 Grundlagen und Probleme der Prozeßmeßtechnik — Mo nm
A 3.2 Digitale Meßwertgewinnung und -verarbeitung — Di vm
A 3.3 Sensortechnik — Mi vm
A 3.4 Temperatur- und Feuchtemeßtechnik — Do vm
A 3.5 Mikrorechnereinsatz in der Prozeßmeßtechnik — Fr vm

Vortragsreihe A 4: Biomedizinische Technik und Bionik

A 4.1-1 Biomedizintechnische Probleme der künstlichen B-Zelle — Mo nm
A 4.1-2 Biomedizintechnische Probleme der künstlichen B-Zelle — Di vm
A 4.2-1 Meßwertverarbeitung evozierter Potentiale — Mi vm
A 4.2-2 Meßwertverarbeitung evozierter Potentiale — Do vm
A 4.3-1 Prinzipien der biologischen Signalerkennung und -verarbeitung — experimentelle Analyse und technische Realisierung — Do nm
A 4.3-2 Prinzipien der biologischen Signalerkennung und -verarbeitung — experimentelle Analyse und technische Realisierung — Fr vm

Workshop über interdisziplinäre Ausbildung in den biomedizinischen Ingenieurwissenschaften — Mi nm

Rückfragen erbeten an:
Technische Hochschule Ilmenau
Direktorat IB — Organisationskomitee 27. IWK
DDR — 6300 Ilmenau — PSF 327.

X. Fachtagung des FA 14 der KDT „Neue Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern"

Am 21. Oktober 1982 führt der Fachausschuß 14 (Steuerungs- und Regelungstechnik) des Fachverbandes Elektrotechnik der KDT in der Kongreßhalle am Alexanderplatz seine X. Fachtagung durch.
Folgende Schwerpunkte werden in Übersichts- und Fachvorträgen behandelt:

- Neue Konzeption von Automatisierungsanlagen mit Mikrorechnern
- Datensteuerstation, Basissteuereinheiten, Koppeleinrichtung für Kraftwerke
- Wartengestaltung mit Mikrorechnern und Farbdisplays
- TEVO und Inbetriebnahme der neuen Anlagengeneration

Organisatorische Anfragen sind zu richten an:

KDT-Präsidium, Fachverband Elektrotechnik, 1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115/117, Telefon: 2202531, App. 216.
Teilnahmemeldungen bitte bis 20. September 1982.

4. Wissenschaftliche Konferenz „Anlagenautomatisierung"

Die Technische Hochschule Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen, veranstaltet in der Zeit vom 3. bis 5. Mai 1983 ihre 4. Wissenschaftliche Konferenz „Anlagenautomatisierung".
In den Vortragsreihen werden wissenschaftliche Ergebnisse und technische Entwicklungen behandelt, die dem fachlichen Profil der Sektion Automatisierungsanlagen entsprechen. Das Programm umfaßt folgende Themenkomplexe:

- Projektierung der Anlagenautomatisierung mit mikroelektronischen Gerätesystemen — Problemaufbereitung von Automatisierungsaufgaben
- Programmierbare Automatisierungssysteme — Geräte- und Anlagentechnik mit Mikrorechnern
- Prozeßmeßtechnik unter dem Einfluß der Mikroelektronik
- Automatisierung von dynamischen Prozessen auf prozeßnahen Ebenen
- Prozeßkoordinierung mit Prozeßrechnern in komplexen verfahrenstechnischen Systemen.

Vortrags- und Teilnehmeranmeldungen sind umgehend zu richten an:
Technische Hochschule Leipzig, 4. Wissenschaftliche Konferenz/Konferenzbüro — DFO
7030 Leipzig
Karl-Liebknecht-Str. 132.

Glasfaserlichtleiter im Einsatz

Seit März 1981 werden im Berliner Fernsprechnetz über einen Lichtleiter vom Durchmesser eines menschlichen Haares 120 Gespräche gleichzeitig übertragen. Damit kann schweres und teures Kupferkabel abgelöst werden.

(ADN-BWT (18) 1480, 7a)

Optischer Computer

Ein optisch arbeitender Digitalrechner auf der Basis spezieller Flüssigkeitskristalle („light valves") wurde an der Ohio State University, USA, aufgebaut. Die dargestellte optische Information in Form von Hell-/Dunkelfeldern werden einer stärkeren Lichtquelle (z. B. Laser) ausgesetzt und das durchscheinende Hell-/Dunkel-Bild von einem Photometer abgetastet. Das LCD-Bildmuster wurde so aufgebaut, daß es ein optisches Äquivalent zu elektronischen Logikbausteinen und Flip-Flops darstellt. Nachteilig ist z. Z. noch das große Volumen. Der große Vorteil besteht in der Möglichkeit, daß sich durch LCD-Bitmusteränderung mit Hilfe von elektrischen Steuersignalen komplette Logiksysteme in Millisekunden untereinander auswechseln lassen.

(ADN-BWT 19 (1950) 3c)

Nachrüstbare Magnetblasenspeicher bis 1 Mbyte

Nachrüstbare Magnetblasenspeicherbausteine auf Steckschaltplatten im Europaformat entwickelt die Fa. Siemens für das Mikrocomputersystem SMP. Die Speicherkapazität ist von 128 Kbyte bis 1 Mbyte ausbaubar. Der Speicherinhalt bleibt bei Abschaltung der Versorgungsspannung erhalten. Die Speicher sind äußerst zuverlässig und verschleißfrei bis +70 °C einsetzbar.

(ADN-BWT (19) 1496, 4c)

Sowjetischer Rechner der dritten Generation

Wissenschaftler der Belorussischen SSR entwickelten den Computer ES-1036 der dritten Generation. Er verfügt gegenüber seinem Vorgänger über eine doppelt so hohe Operationsgeschwindigkeit und ein vierfaches Speichervolumen. Außerdem wurden Eingabestation und System der Mikrodiagnostik vervollkommnet. Auf diese Weise kann der Computer seine Fehler selbst ermitteln und dem Operator signalisieren. Die Produktionskosten konnten konstant gehalten werden.

(ADN-BWT (18) 1491, 3b)

Mikrorechner dosiert Quecksiber

Im Chemiekombinat Buna wird die optimale Quecksilberdosierung mikrorechnergesteuert. Infolgedessen werden die Acetylenausbeute erhöht und der Materialverlust gesenkt, so daß mehr synthetischer Kautschuk, Lösungsmittel und Essigsäure produziert werden können.

(ADN-BWT (18) 1491, 10a 2)

Mikrorechner für Analysen

Vier mikrorechnergestützte Analysenauswertegeräte vom Typ ursalyt 4000 unterstützen im VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht" die Entwicklung von Katalysatoren. Damit sind die Voraussetzungen für eine EDV-gestützte Weiterverarbeitung der Analysenergebnisse im Rahmen der Versuchsauswertung geschaffen.

(ADN-BWT (19) 1500, 10a 3)

Meßprogramm für Arbeitsplatzmasse

In der DDR wurde für die Gestaltung von Arbeitsplätzen ein Meßprogramm mit 74 wesentlichen Parametern entwickelt. Damit ist es erstmals möglich, die statische und dynamische Körpermasse zu erfassen und aus ihnen relevante Aussagen für die optimale und zulässige anthropometrische Gestaltung der Arbeitsbedingungen und für die Sicherheitsabstände abzuleiten. Im Ergebnis dieses Programms soll eine Neufassung der TGL 22/315/01 Arbeitsplatzmasse, Körpermasse stehen.

(ADN-BWT (18) 1491, 10a 3)

Präzisionsmessung von Herzströmen

Von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Westberlin wurde eine Meßkabine entwickelt, die Herzströme 1000mal genauer als das herkömmliche Elektrokardiogramm (EKG) mißt.
Der Patient wird nahezu vollständig von äußeren magnetischen Feldern abgeschirmt, so daß auch die körpereigenen Magnetfelder, die durch Herz- und Gehirnströme entstehen, mit hochempfindlichen Geräten ermittelt werden können. Die Messungen sind sämtlich ohne operativen Eingriff möglich.

(ADN-BWT (18) 1489 5c)

Detektor erkennt Risse

Von der Stiftung für industrielle und technische Forschung in Trondheim/Norwegen wurde ein neuartiges Meßgerät zur Registrierung selbst feinster Risse in Aluminiumkonstruktionen entwickelt. Die exakte Risseerkennung ist selbst dann gewährleistet, wenn die entsprechende Stelle mit einer Korrosionsschicht bedeckt ist. Besondere Bedeutung dürfte das Verfahren vor allem bei der Beurteilung von Aluminiumkonstruktionen im offenen Meer sowie von Materialermüdung erlangen.

(ADN-BWT (19) 1503, 5c)

Roboter mit zwei mechanischen Händen

In der VR Bulgarien ist die Phase der Roboter der dritten Generation angebrochen. Der Prototyp „Bulgaria 1300" hat zwei mechanische Hände und einzelne Elemente eines künstlichen Intellekts. Ihm können Befehle sowohl über eine künstliche (Programmier-) wie auch über menschliche Sprache (Bulgarisch) übermittelt werden. Zum Steuerungssystem des Roboters gehören zwei Videokameras, mit denen die Tätigkeit jeder „Hand" jederzeit exakt verfolgt werden kann.

(ADN-BWT (18) 1491, 5b)

KURZFASSUNGEN

Jainz, G.: IA 4.2.2.

Präzisionstemperaturmessung mit Quecksilberglasthermometern

msr 25 (1982) H. 7, S. 362—364

Im Beitrag werden Hinweise für die richtige Anwendung von Quecksilberglasthermometern für die Präzisionstemperaturmessung gegeben. Insbesondere werden die günstigsten Meßbedingungen und die Bestimmung der notwendigen Korrektionswerte für die Thermometeranzeige dargelegt. Auf die Verwendbarkeit als Referenznormale für die Basiseinheit Temperatur wird hingewiesen. Eine Übersicht über die Anwendungsbereiche und über erreichbare Meßunsicherheiten bei der Temperaturmessung charakterisiert zusammenfassend die Leistungsfähigkeit derselben.

Michaelis, B.; Holub, H.: IA 1.1.9.; 4.2.3.0.

Ein Verfahren zur Linearisierung nichtlinearer Kennlinien und effektiven Kalibrierung unter Nutzung von A-priori-Information

msr 25 (1982) H. 7, S. 365—367

Durch den Einsatz der Mikrorechentechnik wird bei verschiedenen Meßverfahren eine algorithmische Kennlinienlinearisierung und Kalibrierung ökonomisch vertretbar. Der Beitrag behandelt die Gewinnung problemangepaßter Entwicklungsfunktionen unter Nutzung vorhandener A-priori-Information. Dadurch läßt sich insbesondere die Anzahl der erforderlichen Kalibrierpunkte stark herabsetzen und damit der Aufwand im praktischen Betrieb verringern.

Beuschel, J.: IA 4.1.4.

Zuverlässigkeit ständig kontrollierter Automatisierungsfunktionen

msr 25 (1982) H. 7, S. 373—376

Im Beitrag wird die technisch-ökonomische Notwendigkeit der ständigen Kontrolle von Automatisierungsfunktionen (AF) dargestellt. Über die Kenngrößen Zuverlässigkeit der Kontrollfunktion, Kontrollumfang und Kopplungsfaktor wird der Einfluß der Parameter der Kontrollfunktion auf die Zuverlässigkeit des Systems „ständig kontrollierte AF" aufgezeigt. Für AF, die Aufgaben der Prozeßsicherung wahrnehmen, wird ein Sicherheitsfaktor berechnet.

Fischer, K.; Hertel, G.: IA 4.1.4.

Zuverlässigkeitstheorie und leistungsorientierte Systeme

msr 25 (1982) H. 7, S. 377—380

Zuverlässigkeitsbetrachtungen von Informationssystemen und Leistungssystemen haben unterschiedlichen Charakter. Für Leistungssysteme wird eine Lösungsvariante vorgestellt, bei der die Zuverlässigkeit bzw. Verfügbarkeit als unabhängige Variable verwendet wird. Damit wird der Einfluß auf die entscheidenden Leistungsparameter deutlich sichtbar. Gleichzeitig muß erkannt werden, daß die Zuverlässigkeitsbetrachtungen von Leistungssystemen ein Mehrzustandsmodell erforderlich machen.

Jehmlich, W.: IA 4.0.5.

Eingabe-Schnittstellen zur Prozeßdatenerfassung mit dem Mikrorechner K 1520

msr 25 (1982) H. 7, S. 380—385

Im Beitrag werden Fragen der praktischen Realisierung von Eingabe-Schnittstellen zwischen der Prozeßperipherie und dem Mikrorechner K 1520 behandelt. Es werden dabei zwei Schaltungsvarianten einer 8-Kanal-Eingabe-Schnittstelle vorgestellt, die jeweils als buskompatible Steckkarten für den Mikrorechner K 1520 ausgeführt sind. Der Datentransfer zwischen den einzelnen Meßgrößenaufnehmern der Prozeßperipherie und dem Mikrorechner erfolgt auf der Basis frequenzanaloger Signaldarstellung.

Müller, G.: IA 2.3.1.7; 5.0.

Digitaler Mehrkanalregler für Zweigrößenregelung mit Entkopplungsreglern vom PID-Typ

msr 25 (1982) H. 7, S. 386—390

In diesem Beitrag wird der Einsatz eines Vierkanal-Mikroprozessor-Bausteinreglermusters für Mehrgrößenregelungen vorgestellt. Am Beispiel einer nach ingenieurmäßigen Entwurf- und Projektierungsverfahren realisierten Zweigrößenregelung für Druck und Durchfluß mit Haupt- und Entkopplungsreglern vom PID-Typ für näherungsweise Führungs- und Störautonomie wird der effektive Einsatz des digitalen Mehrkanalreglers für Prozeßregelungen nachgewiesen. Die erreichbare Regelgüte entspricht den üblichen Anforderungen.

Frank, G.; Krause, W.; Schumann, B.; Zemmrich, E.: IA 5.6.1.4.

Chargenverfolgung mit Mikrorechner in einem Walzwerk

msr 25 (1982) H. 7, S. 390—394

Ein Mikrorechner-System mit Bildschirmausgaben zur Chargenverfolgung in einem Walzwerk wird in seiner Funktionsweise beschrieben. Die dafür eingesetzte Hardware und Software sowie die Erfahrungen bei der Entwicklung, Testung und beim Betrieb des Systems werden dargestellt.

РЕЗЮМЕ

Jainz, G.: ИА 4.2.2.

Прецизионное измерение температуры при помощи ртутных стеклянных термометров

msr 25 (1982) № 7, стр. 362—364

В статье даны указания для правильного применения ртутных стеклянных термометров для прецизионного измерения температуры. В частности, изложены самые выгодные условия измерения и определение необходимых значений коррекции для показания термометров. Обращено внимание на применяемость как опорный эталон для базисной единицы температуры. Обзор областей применения и достигаемых погрешностей измерения при измерении температуры характеризует его проузводительность.

Michaelis, B.; Holub, H.: ИА 1.1.9.; 4.2.3.0.

Метод линеаризации нелинейных характеристик и эффективной калибровки при использовании априорной информации

msr 25 (1982) № 7, стр. 365—367

Путем применения микровычислительной техники при различных методах измерения алгоритмическая линеаризация характеристик и калибровка могут быть оправданными с экономической точки зрения. Статья рассматривает получение функций разложения, приспособленных к проблемам, при использовании имеющейся априорной информации. Таким самым, в частности возможно сильное сокращение количества необходимых точек калибровки и тем самым уменьшение затрат в практической эксплуатации.

Beuchel, J.: ИА 4.1.4.

Надежность постоянно контролируемых функций автоматизации

msr 25 (1982) № 7, стр. 373—376

В статье изображена технико-экономическая необходимость постоянного контроля функций автоматизации. Через показатели — надежность контрольной функции, объем контроля и коэффициент связи — показано влияние параметров контрольной функции на надежность системы „постоянно контролируемых функций автоматизации" Для функций автоматизации, обеспечивающих задачи защиты процесса, вычислен коэффициент надежности.

Fischer, K.; Hertel, G.: ИА 4.1.4.

Теория надежности и системы, ориентированные на производительность

msr 25 (1982) № 7, стр. 377—380

Соображения надежности информационных систем и мощных систем имеют различный характер. Для мощных систем представлен вариант решения, при котором надежность или готовность используется как независимая переменная. Таким образом, хорошо видно влияние на решающие параметры мощности. Одновременно, очевидно, что соображения надежности мощных систем требуют модель многих состояний.

Jehmlich, W.: ИА 4.0.5.

Точки стыковки входных данных для сбора данных процесса при помощи микровычислительной машины К 1520

msr 25 (1982) № 7, стр. 380—385

В данной статье обсуждены вопросы практической реализации точек стыковки входных данных между периферией процесса и микровычислительной машиной К 1520. При этом, представлены два варианта схемы восьмиканальной точки стыковки входных данных, выполненных как магистрально совместимые карты для микровычислительной машины К 1520. Передача данных между отдельными приемниками измерительных величин периферии процесса и микровычислительной машиной производится на основе частотно-аналогового изображения сигналов.

Müller, G.: ИА 2.3.1.7; 5.0.

Цифровой многоканальный регулятор для регулирования двух величин с регуляторами развязки типа ПИД

msr 25 (1982) № 7, стр. 386—390

В данной статье представлено применение образца четырехканального микропроцессорного блочного регулятора для регулирований нескольких величин. На примере регулирования двух величин, реализованного по инженерным методам разработки и проектирования, для давления и расхода при помощи основных регуляторов и регуляторов развязки типа ПИД для приближенной направляющей и мешающей автономии доказано эффективное применение цифрового многоканального регулятора для регулирований процесса. Достигаемое качество регулирования отвечает общепринятым требованиям.

Frank, G.; Krause, W.; Schumann, B.; Zemmrich, E.: ИА 5.6.1.4.

Следьние за завалкой на прокатном стану при помощи микровычислительбной машины

msr 25 (1982) № 7, стр. 390—394

Описан принцип действия микровычислительной системы с выводами на экране для следения за завалками на прокатном стану. Применяемые для этой цели аппаратурные средства и математическое обеспечение, а также и опыт, накопленный при разработке, проверке и эксплуатации системы представлены.

SUMMARIES

Jainz, G.: IA 4.2.2.

Precision Temperature Measurement by Mercury Glass Thermometers

msr 25 (1982) No. 7, pp. 362—364

The author gives hints for the correct application of mercury glass thermometers in the precision temperature measurement. Particularly, the most favourable measurement conditions and the determination of the necessary correction values for the thermometer display are explained. The applicability as reference normal for the basic unit temperature is pointed out. The performance of the temperature measurement is characterized by a survey on the fields of application and the obtainable measurement uncertainties.

Michaelis, B.; Holub, H.: IA 1.1.9.; 4.2.3.0.

A Method for Linearizing Nonlinear Characteristics and Efficient Calibration by Use of A priori Information

msr 25 (1982) No. 7, pp. 365—367

By the application of microcomputers an algorithmic characteristic linearization becomes possible economically for different measurement methods. The author deals with obtaining problem-adapted development functions by use of existing a priori information. Thereby, in particular the number of the necessary calibration points and with this the expense in the practical operation may be considrecably reduced.

Beuschel, J.: IA 4.1.4.

Reliability of Continuously Controlled Automation Functions

msr 25 (1982) No. 7, pp. 373—376

In this contribution the author outlines the technical-economical necessity of the continuous supervision of automation functions. Via the indices reliability of the control function, control extent and coupling factor the influence of the parameters of the control function upon the reliability of the system "continuously controlled automation function" is shown. For automation functions carrying out process securing tasks a security factor is calculated.

Fischer, K.: Hertel, G.: IA 4.1.4.

Reliability Theory and Power-Oriented Systems

msr 25 (1982) No. 7, pp. 377—380

Reliability considerations of information systems and power systems have different character. For power systems the authors present a solution variant with which the reliability and availability, respectively, are used as independent variables. With this, the influence upon the decisive power parameters becomes very obvious. Simultaneously, it must be recognized that the reliability considerations of power systems require a multi-state model.

Jehmlich, W.: IA 4.0.5.

Input Interfaces for Process Data Acquisition by the K 1520 Microcomputer

msr 25 (1982) No. 7, pp. 380—385

The author deals with questions concerning the practical realization of input interfaces between the process periphery and the microcomputer K 1250. With this, two circuit variants of an eight-channel input interface are presented which are realized as bus-compatible plug-in cards for the microcomputer K 1520. The data transfer between the individual measurement sensors of the process periphery and the microcomputer is carried out on the base of a frequency-analogue signal representation.

Müller, G.: IA 2.3.1.7.; 5.0.

Digital Multi-Channel Controller for Two-Variable Feedback Controls with Decoupling Controllers of the PID Type

msr 25 (1982) No. 7, pp. 386—390

The author presents the use of a four-channel microprocessor building block controller specimen for multi-variable feedback controls. The efficient application of the digital multi-channel controller for process feedback controls is proved by the example of a two-variable feedback control for pressure and flow with main and decoupling controllers of the PID type designed accordingly to practical synthesis methods with the criterion of approximate reference and perturbation autonomy. The control performance obtainable corresponds to the usual requirements.

Frank, G.; Krause, W.; Schumann, B.; Zemmrich, E.: IA 5.6.1.4.

Charge Tracking in a Rolling Mill by Microcomputer

msr 25 (1982) No. 7, pp. 390—394

The authors describe a microcomputer system with crt display outputs for the charge tracking in a rolling mill. The hardware and software used as well as the experiences obtained in designing, testing and operating the system are presented.

RÉSUMÉS

Jainz, G.: IA 4.2.2.

La mesure précise de température par des thermomètres de verre à mercure

msr 25 (1982) No. 7, pp. 362—364

L'auteur donne des renvois pour le propre emploi de thermomètres de verre à mercure dans la mesure précise de température. Particulièrement, les conditions de mesure les plus favorables et la détermination des valeurs nécessaires de correction pour l'affichage du thermomètre sont expliquées. L'applicabilité tomme standard de référence pour l'unité de base température est soulignée. l'efficacité de la mesure de température est caractérisée par un aperçu sur les champs d'emploi et les incertitudes de mesure obtenables.

Michaelis, B.; Holub, H.: IA 1.1.9.; 4.2.3.0.

Une méthode pour la linéarisation de caractéristiques non linéaires et le calibrage efficient à l'aide d'information à priori

msr 25 (1982) No. 7, pp. 365—367

Par l'emploi de micro-ordinateurs, une linéarisation algorithmique de caraceté ristiques et une calibration algorithmique deviennent économiquement possiblé pour des méthodes de mesure différentes. L'auteur traite l'obtention de fonctions de développement adaptées au problème à l'aide de disponible information à priori. Par cela, particulièrement le nombre des points de calibrage nécessaires et, donc, la dépense en opération pratique peuvent être considérablement réduits.

Beuschel, J.: IA 4.1.4.

La fiabilité de fonctions d'automation continûment contrôlées

msr 25 (1982) No. 7, pp. 373—376

Dans cette contribution, l'auteur souligne la nécessité technique-économique du contrôle permanent de fonctions d'automation. En utilisant les indices fiabilité de la fonction de contrôle, étendue de contrôle et facteur de couplage, l'auteur montre l'influence des paramètres de la fonction de contrôle sur la fiabilité du système "fonctions d'automation continûment contrôlées". Pour des fonctions d'automation continûment contrôlées qui réalisent des tâches de protection de processus un facteur de sécurité est calculé.

Fischer, K.; Hertel, G.: IA 4.1.4.

La théorie de fiabilité et des systèmes orientés sur puissance

msr 25 (1982) No. 7, pp. 377—380

Les considérations de fiabilité de systèmes d'information et de systèmes de puissance ont un caractère différent. Pour des systèmes de puissance, les auteurs présentent une variante de solution qui utilise comme variable indépendante la fiabilité ou la disponibilité. Avec cela, l'influence sur les paramètres de puissance décisifs devient très évidente. Simultanément, il faut reconnaître que les considérations de fiabilité pour des systèmes de puissance exigent un modèle à plusieurs états.

Jehmlich, W.: IA 4.0.5.

Des interfaces d'entrée pour l'acquisition des données de processus par le micro-ordinateur K 1520

msr 25 (1982) No. 7, pp. 380—385

L'auteur traite des questions de la réalisation pratique d'interfaces d'entrée entre la périphérie de processus et le micro-ordinateur K 1520. A cela, il présente deux variantes de montage d'une interface d'entrée à 8 voies qui sont réalisées comme cartes enfichables bus-compatibles pour le micro-ordinateur K 1520. Le transfert de données entre les individuels capteurs de mesure et la périphérie de processus est exécuté sur la base d'une représentation de signal fréquence-analogique.

Müller, G.: IA 2.3.1.7.; 5.0.

Un régulateur numérique à plusieurs voies pour un réglage à deux variable avec des régulateurs de découplage du type PID

msr 25 (1982) No. 7, pp. 386—390

L'auteur présente l'emploi d'un spécimen pour un module de régulateur à 4 voies réalisé par micro-processeur pour des réglages multidimensionnels. L'application efficiente du régulateur digital à plusieurs voies pour des réglages de processus est prouvée à l'aide de l'exemple d'un réglage à deux variable pour pression et débit avec des régulateurs principaux et de découplage du type PID projetés par des méthodes de synthèse pratiques selon le critère d'une autonomie approximative de référence et de perturbation. La performance de réglage obtenable correspond aux exigences usuelles.

Frank, G.; Krause, W.; Schumann, B.; Zemmrich, E.: IA 5.6.1.4.

La poursuite de charges dans un laminoir par micro-ordinateur

msr 25 (1982) No. 7, pp. 390—394

Les auteurs décrivent un système de micro-ordinateur avec des sorties à écran cathodique pour la poursuite de charges dans un laminoir. Le hardware et le logiciel utilisés ainsi que les expériences obtenues dans le développement, le test et l'opération du système sont présentés.

Bestellschein

Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland beim örtlichen Buchhandel bestellen.

Expl.

Vorrichtungen
Gestalten — Bemessen — Bewerten
Autorenkollektiv
7., bearbeitete Auflage, 340 Seiten, 368 Bilder, 62 Tafeln
Kunstleder 21,50 M
Bestell-Nr. 5530363 .....

Einführung in die Automatisierungstechnik
H. Töpfer und *S. Rudert*
4., durchgesehene Auflage, 284 Seiten, 235 Bilder, 24 Tafeln
Kunstleder 19,— M
Bestell-Nr. 5526049 .....

Fertigungsprozeßgestaltung im Maschinen- und Gerätebau
F. Schiffer und *K.-H. Tempelhof*
1. Auflage, 382 Seiten, 190 Bilder, 74 Tafeln
Kunstleder 28,— M
Bestell-Nr. 5528079 .....

Polytechnisches Wörterbuch
TECHNIK-WÖRTERBUCH
Deutsch-Französisch
mit etwa 60000 Fachbegriffen
A. Schlegelmilch
4., unveränderte Auflage
Kunstleder 45,— M
Bestell-Nr. 5517847 .....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik ebenfalls mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

....

....

....

....

.....
Name, Vorname

.....
Anschrift mit Postleitzahl

....
Datum Unterschrift

messen · steuern · regeln

Herausgeber	Kammer der Technik, Wissenschaftliche Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA)
Verlag	VEB Verlag Technik DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14 Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 2870 0; Telex: 011 2228 techn dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ök. *Herbert Sandig*
Redaktion	Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 287 03 62) Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 287 03 74)
Lizenz-Nr.	1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
AN (EDV)	15936
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Gesamtherstellung	VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
	Umschlag — eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin
Anzeigenannahme	DDR-Anzeigen: DEWAG Berlin, 1026 Berlin, Rosenthaler Str. 28—31 (Telefon: 270 32 90), und alle DEWAG-Zweigstellen. Anzeigenpreisliste Nr. 6 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
Bezugsmöglichkeiten	
DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing
ČSSR	PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 125 05 Praha PNS, Ústred na Expedicia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 884 19 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucureşti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi
BRD und Berlin (West)	Brücken-Verlag GmbH, Ackerstraße 3, 4000 Düsseldorf 1; ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Genossenschaft Literaturvertrieb, Cramerstraße 2, 8004 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Buchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160, und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29.

Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Instituts enthalten.

Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1982 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden

[1] *Goluško, I. M.; Varlamov, N. V.:* Osnovy modelirovanija i avtomatizacii upravlenija tylom (Grundlagen der Modellierung und Automatisierung des Hinterlandes). Voenizdat. 2. Quart. 1982. NK-No. 43–81 (56).

[2] *Bilinskij, I. Ja.; Mikelson, A. K.:* Stochastičeskaja cifrovaja obrabotka nepreryvnych signalov (Stochastische digitale Verarbeitung kontinuierlicher Signale). Zinatne (LatvSSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 44–81 (108).

[3] *Muchamedchanova, R. I.; Gafurov, M. U.; Mirvaliev, M.*, u. a.: Slučajnye processy i matematičeskaja statistika (Stochastische Prozesse und mathematische Statistik). Fan(UzSSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 44–81 (109).

[4] *Borisov, A. N.; Levčenkov, A. S.:* Metody interaktivnoj ocenki rešenij (Methoden der interaktiven Einschätzung von Entscheidungen). Zinatne (LatvSSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 44–81 (163).

[5] Metody nerazrušajuščego kontrolja nadežnosti integral'nych schem (Methoden zur nichtzerstörenden Zuverlässigkeitskontrolle integrierter Schaltungen). Zinatne (LatvSSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 44–81 (165).

[6] *Nejmark, A. M.:* Roboty na službe čeloveka (Roboter im Dienste des Menschen). Nauka. 2. Quart. 1982. NK-No. 44–81 (166).

[7] Avtomatizacija mikrobiologičeskich processov (Automatisierung mikrobiologischer Prozesse). Zinatne (LatvSSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 44–81 (173).

[8] Voprosy dinamiki i pročnosti. Vyp. 41: Analiz i sintez v dinamike mechaničeskich sistem (Fragen der Dynamik und Festigkeit. Ausg. 41: Analyse und Synthese in der Dynamik mechanischer Systeme). Zinatne (LatvSSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 44–81 (179).

[9] Problemy slučajnogo poiska v vyčislitel'nych sistemach i setjach. Vyp.10 (Probleme der stochastischen Suche in Rechnersystemen und Rechnernetzen. Ausg. 10). Zinatne (LatvSSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 44–81 (184).

[10] *Ikramova, Ch. Z.:* Algoritmy rapoznavanija i diagnostika (Algorithmen der Erkennung und Diagnostik). Fan(UzSSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 44–81 (228).

[11] Avtomatizacija proizvodstvennych processov v mašinostroenii i priborostroenii. Vyp. 21 (Automatisierung der Produktionsprozesse in Maschinenbau und Gerätebau. Ausg. 21). Izd-vo L'vov. un-ta. 3. Quart. 1982. NK-No. 47–81 (76).

[12] *Lavrinenko, M. Z.:* Technologija mašinostroenija i technologičeskie osnovy avtomatizacii (Technologie des Maschinenbaus und technologische Grundlagen der Automatisierung) Višča škola. 4. Quart. 1982. NK-No. 47–81 (227).

[13] *Cymbal, V. P.:* Teorija informacii i kodirovanie (Informationstheorie und Kodierung). Višča škola (USSR). 1. Quart. 1982. NK-No. 47–81 (256).

[14] *Jastremskij, I. A.:* Stochastičeskie modeli v matematičeskoj ekonomike (Stochastische Modelle in der mathematischen Ökonomie). Višča škola (USSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 47–81 (257).

[15] Analitičeskie metody issledovanija dinamiki i ustojčivosti složnych sistem (Analytische Methoden zur Untersuchung der Dynamik und Stabilität komplizierter Systeme). Izd. In-ta matematiki AN USSR. 3. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (51).

[16] Matematičeskoe obespečenic složnogo eksperimenta. V 5 t. (Mathematische Sicherstellung komplizierter Experimente. In 5 Bänden). Naukova dumka (USSR). 1982 bis 1984. NK-No. 49–81 (54).

[17] Navigacija i upravlenie (Navigation und Steuerung). Izd. In-ta matematiki AN USSR. 4. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (58).

[18] Nekotorye voprosy teorii slučajnych processov (Einige Fragen der Theorie stochastischer Prozesse). Izd. In-ta matematiki AN USSR. 2. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (59).

[19] Oscilljacija i ustojčivost' rešenij differencial'no-funkcional'nych uravnenij (Oszillation und Stabilität der Lösungen von Differential-Funktionalgleichungen). Izd. In-ta matematiki AN USSR. 4. Quart. 1982. NK-No. 47–81 (60).

[20] Avtomatizacija i relejnaja zaščita v energosistemach (Automatisierung und Relaisschutz in Energiesystemen). Naukova dumka (USSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (95).

[21] *Vasil'ev, V. I.:* Razpoznajuščie sistemy (Systeme der Mustererkennung). Naukova dumka (USSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (96).

[22] Kibernetika i vyčislitel'naja technika. Vyp. 56 (Kybernetik und Rechentechnik. Ausg. 56). Naukova dumka (USSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (111).

[23] Kibernetika i vyčislitel'naja technika. Vyp. 57 (Kybernetik und Rechentechnik. Ausg. 57). Naukova dumka (USSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (112).

[24] Naukovedenie i informatika. Vyp. 23 (Wissenschaftstheorie und Informatik. Ausg. 23). Naukova dumka (USSR). 3. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (118).

[25] Trudy Zapadno-Sibirskogo regional'nogo naučno-issledovatel'skogo gidrometeorologičeskogo instituta. Vyp. 57. Voprosy klimatologii i obrabotka meteorologičeskoj informacii na EVM (Arbeiten des Westsibirischen regionalen Forschungsinstituts für Hydrometeorologie. Ausg. 57: Fragen der Klimatologie und der Verarbeitung meteorologischer Information auf der EDVA). Gidrometeoizdat. 2. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (159).

[26] Vyp. 59: Voprosy dolgosročnych i kratkosročnych prognozov pogody (Fragen der lang- und kurzfristigen Wetterprognosen). Gidrometeoizdat. 2. Quart. 1982. NK-No. 49–81 (161).

[27] Avtomatizacija naučnych issledovanij (Automatisierung wissenschaftlicher Forschungen). Nauka. 3. Quart. 1982. NK-No. 50–81 (134).

[28] Primenenie EVM i matematičeskich metodov v gornom dele (Anwendung der EDVA und mathematischer Methoden im Bergbau). Nedra. 2. Quart. 1982. NK-No. 50–81 (141).

15936 7 APW 4011 7001 1003
159 549 904
SHAT 11

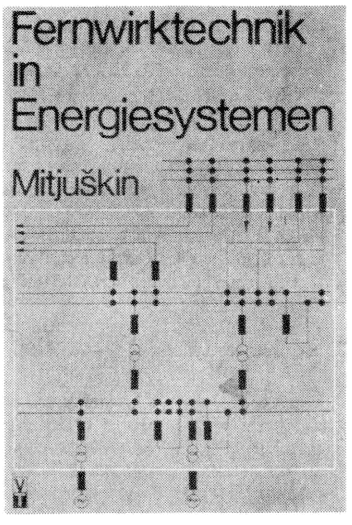
NEUERSCHEINUNG

Fernwirktechnik in Energiesystemen

Von K. G. Mitjuškin

Aus dem Russischen.
In deutscher Bearbeitung.

Etwa 240 Seiten, 76 Bilder,
26 Tafeln, Kunstleder,
25,— M. Bestellangaben:
552 9493/Mitjuškin,
Fernwirktechnik



Im Mittelpunkt dieses von einem sowjetischen Autor verfaßten Buches steht die Anwendung der Fernwirktechnik zur Automatisierung der Prozeßführung von Elektroenergiesystemen. Behandelt werden die Grundlagen der Informations- und Codierungstheorie und ihre Anwendung in der Fernwirktechnik sowie die Prinzipien der gerätetechnischen Realisierung hierarchischer Fernwirksysteme. Die Schaffung automatisierter Systeme der Dispatchersteuerung ist in der Energiewirtschaft der DDR ebenso aktuell wie in der UdSSR.

Die theoretischen Abhandlungen werden durch leicht faßliche Beispiele erläutert. Die Anforderungen an Leuchtschaltbilder, Fernsteuerungen, Fernmeßsysteme und komplexe Informationsverarbeitungssysteme werden erstmalig exakt formuliert. Ökonomische Betrachtungen ziehen sich durch das ganze Buch. Bei der Bearbeitung der deutschsprachigen Übersetzung wurden moderne, zur Zeit im Einsatz befindliche Fernwirksysteme aus der DDR-Produktion eingefügt (z. B. ursatrans 4143). Für zukünftige Fernwirksysteme werden die theoretischen Grundlagen und die Wirkprinzipien behandelt. Weiterhin wird eine Konzeption für den Aufbau des „Automatisierten Systems der Dispatchersteuerung" erarbeitet.

Das vorliegende Fachbuch vermittelt sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Erfahrungen und wird damit einen wirksamen Beitrag bei der Einsatzvorbereitung neuer fernwirktechnischer Einrichtungen leisten. Aus der Sicht des Anwenders verfaßt, wendet es sich vor allem an Fachkollegen, die mit den beschriebenen Einrichtungen arbeiten müssen und für den zuverlässigen Betrieb derartiger Anlagen verantwortlich sind. Aber auch den in der technischen Entwicklung und Investitionsvorbereitung Tätigen gibt es einen Überblick über die Besonderheiten der Fernwirktechnik und deren Einsatz in der Energiewirtschaft.

Erscheint in diesen Tagen.

Auslieferung durch den Fachbuchhandel.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN